



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**Facultad de Tecnología de la Construcción**

**Carrera de Ingeniería Agrícola**

---

**MONOGRAFIA**

**ESTUDIO DE VULNERABILIDAD HIDROGEOLOGICA DE LA CUENCA  
EL SAUCE, USANDO EL MÉTODO DRASTIC**

**Elaborado por:**

***Br. Amílcar Josué Ramos Valle***

**Para optar al título de**

**INGENIERO AGRÍCOLA**

**Tutor: Dr. Ing. Efraín Chamorro B.**

**Asesor: MSc. Enoc Castillo Hernández**

**Asesor: Ing. Ramón Dávila López**

**Managua, Marzo 2012**

## **DEDICATORIA**

A nuestro señor Jehová por darme la fortaleza y muchas bendiciones en lo que va de mi vida, a mi madre Ena María Valle Duriertz, por todos los sacrificios que ella a paso para poder darme educación primaria, secundaria y estudios universitarios, privándose de muchas cosas para que a mí no me faltara nada.

A mi hermano Jorge Isaac Ramos Valle que ha sido un padre para mí, que gracias a todo su apoyo y sus consejos logre culminar esta carrera.

A mi Padre Jorge Ramos Galo, que a pesar de la distancia siempre me brindó su apoyo incondicional.

A mis hermanos Yader Ramos Valle, Ena Ramos Valle y Reynaldo Reyes Valle por estar conmigo apoyándome en todo momento.

A mis sobrinos Ayden Isaac Ramos, Dilan Duran Ramos y Eliezer Reyes Leyton, los cuales son una motivación para la búsqueda de soluciones a los problemas hídricos.

A la memoria de mi hermano Eliezer José Reyes Valle quien se sentiría feliz de ver mi superación profesional.



## **AGRADECIMIENTOS**

Le agradezco primamente a Dios por darme la fuerzas para coronar esta carrera, a mi mama por todo el amor y apoyo que me ha brindado en toda mi vida, a mi hermano Jorge Ramos Valle por su apoyo, comprensión y por sus consejos y al resto de mis hermanos por estar siempre a mi lado.

Al Dr. Efraín Chamorro por su amistad incondicional, por motivarme al estudio de la hidrogeología y por todo el apoyo que me proporciono cuando era estudiante.

Al Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales (INETER), por la oportunidad que me brindo de ser parte de esta tan prestigiada institución y tener la dicha de conocer y aprender de muchos especialistas de diferentes áreas.

A la dirección superior de recursos hídricos, especialmente al personal de la dirección de hidrogeología por todas las enseñanzas, consejos, por dedicarme un poco de su valioso tiempo para la elaboración de esta monografía.

Le agradezco mucho al Ing. Ramón Dávila, por todo su apoyo, y ser un gran maestro y amigo.

A la Ing. Elizabeth Peña y Ing. Enoc Castillo, por todo su apoyo, consejos y estar siempre presentes para aclarar las dudas que se presentaron en la elaboración de este trabajo.

Al Ing. Jorge Cisneros por todo el apoyo brindado con mi persona, y ser un gran maestro en los sistemas de información geográfica.

A mis amigos Ronald Maradiaga, Vladimir Velásquez y Néstor López, por brindarme su amistad en los años que fuimos estudiantes.

A los amigos que siempre están cerca de mí, a los que por trabajo o alguna circunstancia están un poco más lejos, y a los que por motivo de fuerzas mayores ya no están con nosotros.

## RESUMEN

El Documento **VULNERABILIDAD HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA EL SAUCE USANDO EL MÉTODO DRASTIC** presenta el procedimiento y los resultados obtenidos de la aplicación del método DRASTIC. El método DRASTIC es un sistema estandarizado para estimar la sensibilidad natural de un acuífero expuesto a la contaminación por existencia de una carga contaminante impuesta, utilizando los distintos escenarios hidrogeológicos que pueden encontrarse en el área a ser considerarse.

El método se apoya en el análisis de siete parámetros hidrogeológicos, a los cuales se les asigna un peso de acuerdo al grado de influencia que tiene cada uno de ellos en el proceso de la contaminación; asignando los pesos más altos a los de mayor influencia.

Un análisis detallado de los mapas que se obtienen para cada parámetro permite subdividirlo en áreas más pequeñas clasificadas por su sensibilidad local. La sobreposición de estos mapas permite obtener un mapa de los escenarios hidrogeológicos, en el cual se presentan la interacción de los siete parámetros. Los parámetros utilizados son: Profundidad del agua subterránea, Recarga neta, Tipo de acuífero, Tipo de suelo, Topografía, Impacto en la zona vadosa ó zona no saturada, Conductividad Hidráulica.

El método se aplicó en la cuenca el sauce cubriendo una superficie de 365.5 km<sup>2</sup>. Las ponderaciones de carácter estándar que hace el método, particularmente a las formaciones geológicas, fueron adecuadas a la estratigrafía del área en base a un análisis comparativo.

Con este método se elaboró el mapa de vulnerabilidad hidrogeológica a la contaminación para la cuenca El sauce, encontrándose tres niveles de sensibilidad, los cuales son: ALTA VULNERABILIDAD, MODERADA VULNERABILIDAD, BAJA VULNERABILIDAD.

El mapa de vulnerabilidad sirve para apoyar decisiones relacionadas con la protección de la cuenca y como instrumento auxiliar muy importante para la formulación de planes de protección de las aguas subterráneas.

## CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	iii
CONTENIDO.....	iv
INDICE DE CUADROS.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	vi
INDICE DE MAPAS.....	vi
CAPITULO 1 GENERALIDADES.....	1
1.1 Introducción.....	2
1.1.1.1 Macro localización.....	3
1.1.1.2 Micro localización.....	4
1.2 Antecedentes.....	7
1.3 Justificación.....	9
1.4 Objetivos.....	11
CAPITULO 2 MARCO TEORICO.....	12
2.1 Introducción.....	13
2.2 Geomorfología.....	13
2.3 Geología superficial Local.....	14
2.3.1 Dacitas (Tmcd).....	15
2.3.2 Andesitas (Tmca).....	15
2.3.3 Lava andesítica (Tpcla).....	16
2.3.4 Ignimbritas dacíticas (Tmcid).....	16
2.3.5 Ignimbritas (Tpci).....	16
2.3.6 Cuaternario indiferenciado (Q).....	16
2.3.7 Rocas Intrusivas (Tia).....	17
2.4 Medio hidrogeológico.....	17
2.4.1 Unidad de sedimentos cuaternario.....	17
2.4.2 Unidad de rocas del terciario.....	17
2.5 Vulnerabilidad hidrogeológica.....	19
2.5.1 Concepto de vulnerabilidad.....	19
2.5.2 Métodos para determinación la vulnerabilidad.....	20
2.5.3 Método DRASTIC.....	21
2.5.3.1 Profundidad del agua subterránea (D).....	22
2.5.3.2 Recarga (R).....	23
2.5.3.3 Medio del acuífero (A).....	24
2.5.3.4 Tipo de suelo (S).....	24
2.5.3.5 Topografía (T).....	25
2.5.3.6 Impacto en la zona vadosa ó no saturada (I).....	26
2.5.3.7 Conductividad hidráulica (C).....	28
2.6 Modelos de contaminación del agua subterránea.....	28
2.7 Transporte de la contaminación en un medio acuífero.....	29
CAPITULO 3 DISEÑO METODOLÓGICO.....	32
3.1 Introducción.....	33
3.2 Elaboración de mapas de los diferentes parámetros hidrogeológicos de la cuenca El Sauce.....	33

3.2.1 Profundidad del agua (D) .....	33
3.2.2 Recarga neta (R) .....	33
3.2.3 Medio del acuífero (A) .....	34
3.2.4 Medio del suelo (S) .....	34
3.2.5 Topografía (T) .....	35
3.2.6 Impacto de la zona vadosa (I).....	35
3.2.7 Conductividad hidráulica (C) .....	35
3.2.8 Sistema Numérico .....	37
3.3 Identificación de los diferentes escenarios hidrogeológicos de la Cuenca El Sauce. ....	38
3.4 Elaborar el mapa de vulnerabilidad hidrogeológica de la cuenca El Sauce. ....	39
<b>CAPITULO 4 RESULTADOS OBTENIDOS.....</b>	<b>40</b>
4.1 Características de los parámetros hidrogeológicos de la cuenca El Sauce.....	41
4.1.1 Profundidad del agua subterránea .....	41
4.1.2 Recarga neta .....	46
4.1.3 Medio del acuífero.....	51
4.1.4 Suelo .....	54
4.1.5 Topografía .....	57
4.1.6 Zona vadosa ó zona no saturada.....	60
4.1.7 Conductividad hidráulica.....	63
4.2 Escenarios hidrogeológicos .....	66
4.3 Vulnerabilidad Hidrogeológica de la cuenca El Sauce .....	68
4.3.1 Descripción del área de alta vulnerabilidad.....	68
4.3.2 Área de moderada vulnerabilidad.....	69
4.3.3 Área de baja vulnerabilidad.....	70
4.3.4 Mapa de vulnerabilidad .....	71
4.3.5 Usos del mapa de vulnerabilidad.....	71
<b>CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>74</b>
5.1 Conclusiones.....	75
5.2 Recomendaciones .....	78
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO A: CUADROS .....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO B: FIGURAS .....</b>	<b>79</b>

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Elevaciones en la cuenca El Sauce .....	14
Cuadro 2 Peso asignado a cada parámetro de acuerdo a su importancia .....	22
Cuadro 3 Profundidad del agua subterránea.....	23
Cuadro 4 Recarga neta.....	23
Cuadro 5 Medio del acuífero .....	24
Cuadro 6 Medio del suelo.....	25
Cuadro 7 Topografía.....	26
Cuadro 8 Impacto en la zona vadosa.....	27
Cuadro 9 Conductividad hidráulica.....	28
Cuadro 10 Pozos perforados con datos hidráulicos.....	37
Cuadro 11 Resultados del análisis de la profundidad del Agua .....	44
Cuadro 12 Recarga media anual de la Cuenca El Sauce .....	48
Cuadro 13 Resultados del análisis de la recarga Neta.....	49
Cuadro 14 Resultados del análisis del medio del acuífero .....	52
Cuadro 15 Resultados del análisis medio del suelo.....	55
Cuadro 16 Resultados de la topografía del terreno .....	58
Cuadro 17. Resultados del impacto en la zona vadosa o zona no saturada.....	61
Cuadro 18 Resultados de la conductividad Hidráulica.....	64
Cuadro 19 Rangos de vulnerabilidad .....	68

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 . Macro localización.....	4
Figura 2 Micro localización.....	5
Figura 3 Mapa geológico de la cuenca El sauce.....	15
Figura 4 Perfil hidrogeológico longitudinal de NO al SE dentro del valle El Sauce .....	18
Figura 5 Perfil hidrogeológico transversal de SO al NE dentro del valle El Sauce. ....	18
Figura 6 Ubicación espacial de los parámetros. ....	21
Figura 7 Desplazamiento del contaminante en el agua según su densidad .....	31

## INDICE DE MAPAS

Mapa 1 Profundidad del Agua Subterránea.....	45
Mapa 2 Zonas de Recarga .....	50
Mapa 3 Medio del Acuífero .....	53
Mapa 4 Medio del suelo .....	56
Mapa 5 Rangos de Pendiente .....	59
Mapa 6 Impacto en la Zona Vadosa.....	62
Mapa 7 Conductividad hidráulica .....	65
Mapa 8 Escenarios Hidrogeológicos .....	67
Mapa 9 Vulnerabilidad Natural a la contaminación de agua subterránea .....	73

# **CAPITULO 1**

## **GENERALIDADES**

## **1.1 Introducción**

La demanda humana sobre los recursos hídricos subterráneos en las diferentes regiones del país se acentúa cada día más. Estas fuentes de agua son utilizadas principalmente para el abastecimiento de la población que continuamente está en crecimiento, para la agricultura, la ganadería y la industria.

La contaminación de los recursos hídricos en Nicaragua es una preocupación ascendente que a diario muestra más evidencia, sin embargo se tiene muy poca información del grado de afectación de los acuíferos del país; por esta razón es necesario prevenir los impactos negativos de los cuerpos de agua subterráneos orientando esfuerzos y recursos en aquellos acuíferos que por su características geológicas e hidrogeológicas son naturalmente sensibles a la contaminación.

En Nicaragua, debido a la creciente demanda y al deterioro en la calidad de las aguas superficiales, el suministro de agua potable se realiza a través de las fuentes de agua subterránea, hasta en un 73% (Cuerpo ingeniero USA, 2001); por lo que lo lixiviado representa un peligro potencial para los acuíferos.

La falta de estudio donde se haya caracterizado y evaluado la influencia de los lixiviados en las aguas subterráneas en Nicaragua, ha promovido el interés de universidades, municipalidades y organismos no gubernamentales (ONG's), preocupados por los problemas ambientales y sanitarios que generarían estos lixiviados en los recursos hídricos subterráneos.

En Nicaragua los acuíferos han sido sometidos a altas extracciones, sin un control adecuado, con el propósito de obtener este líquido vital, descuidando las consecuencias futuras. Otro aspecto importante de señalar es que siendo el agua subterránea un recurso que no se ve a simple vista se le resta importancia a su protección por el hecho de estar en el subsuelo, lo que hace pensar, que no está expuesta a ningún riesgo de contaminación, siendo esta una

razón importante por la cual sea descuidado la búsqueda de técnicas orientadas a la protección de los recursos hídricos subterráneos.

En el municipio El Sauce solamente la parte urbana de la cabecera Municipal, cuenta con el servicio público de agua potable cuya administración está a cargo de la oficina de la delegación municipal de la Empresa de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL), mientras solo el 55.9% de la población rural tiene acceso a fuentes adecuadas de agua (fuentes subterráneas o pozos), y el resto (44.1%) se abastece de aguas superficiales (Ficha Municipal del Municipio El Sauce 1997 – 2000)

Según la ficha municipal del municipio El Sauce (Bibliografía 4), para abastecimiento de agua potable, la población rural dispone de fuentes subterráneas de agua que son: pozos particulares, pozos comunales excavados a mano o perforados y mini acueductos. El resto de la población que no cuenta con fuentes de agua subterránea, se abastece de aguas superficial como ojos de agua y pequeños pozos con aguas someros a orillas de los ríos y quebradas, los cuales corren el riesgo de contaminarse.

El mal uso de químicos para controlar plagas y enfermedades en los cultivos y la existencia de hatos ganaderos en lugares inadecuados es una preocupación en el municipio por la posible contaminación del manto acuífero.

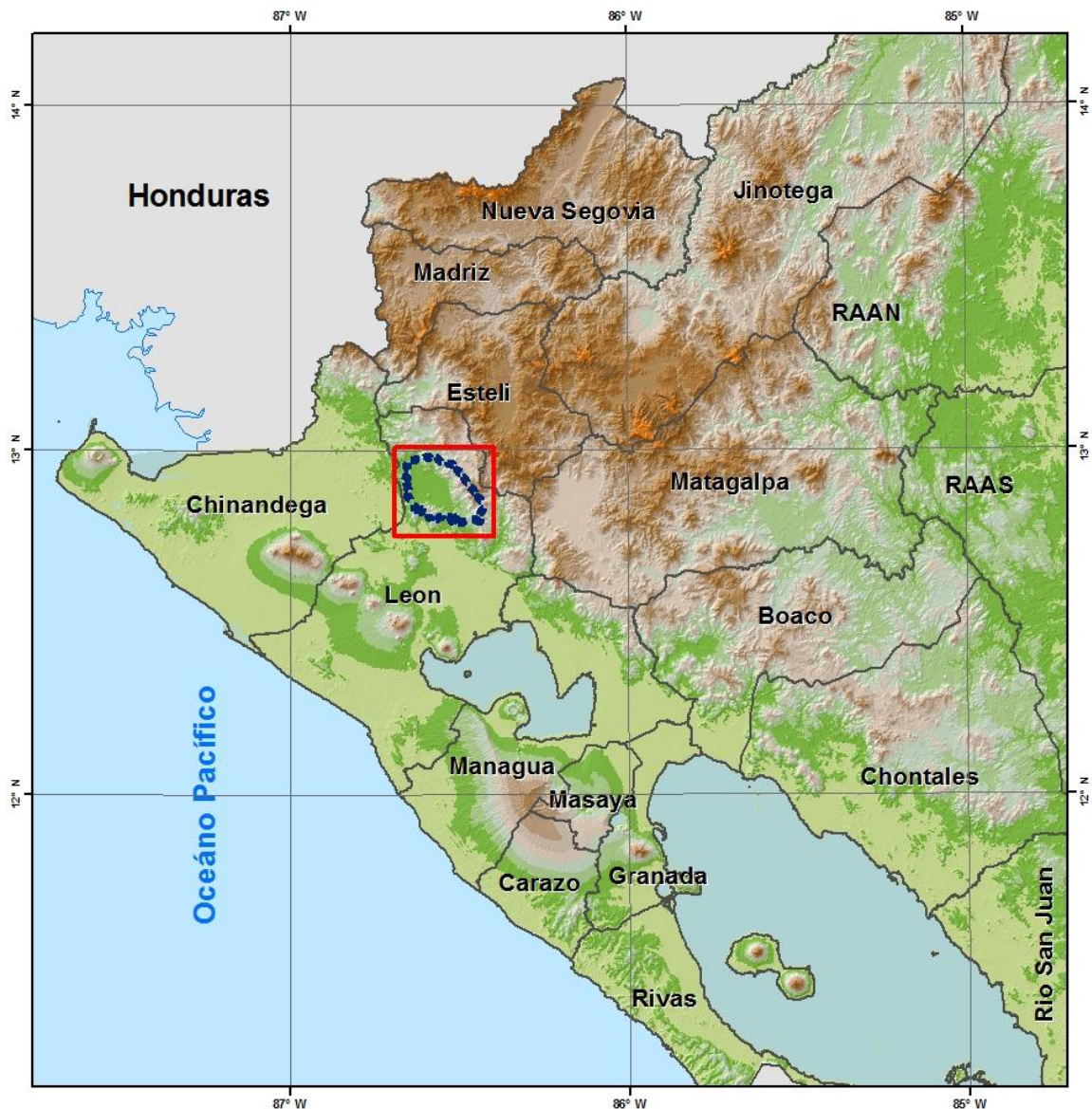
### **1.1.1 Localización política administrativa**

#### **1.1.1.1 Macro localización**

El Sauce es un municipio del departamento de León, posee 629.97 Km.<sup>2</sup> (13.4% del territorio del departamento de León y 0.54% del territorio Nacional, se encuentra 87 Km. de la cabecera departamental León y 177 km de la ciudad capital Managua.

Está geográficamente ubicado entre las coordenadas geográficas 12° 53" latitud Norte y 86 ° 32" latitud Oeste (Figura 1).



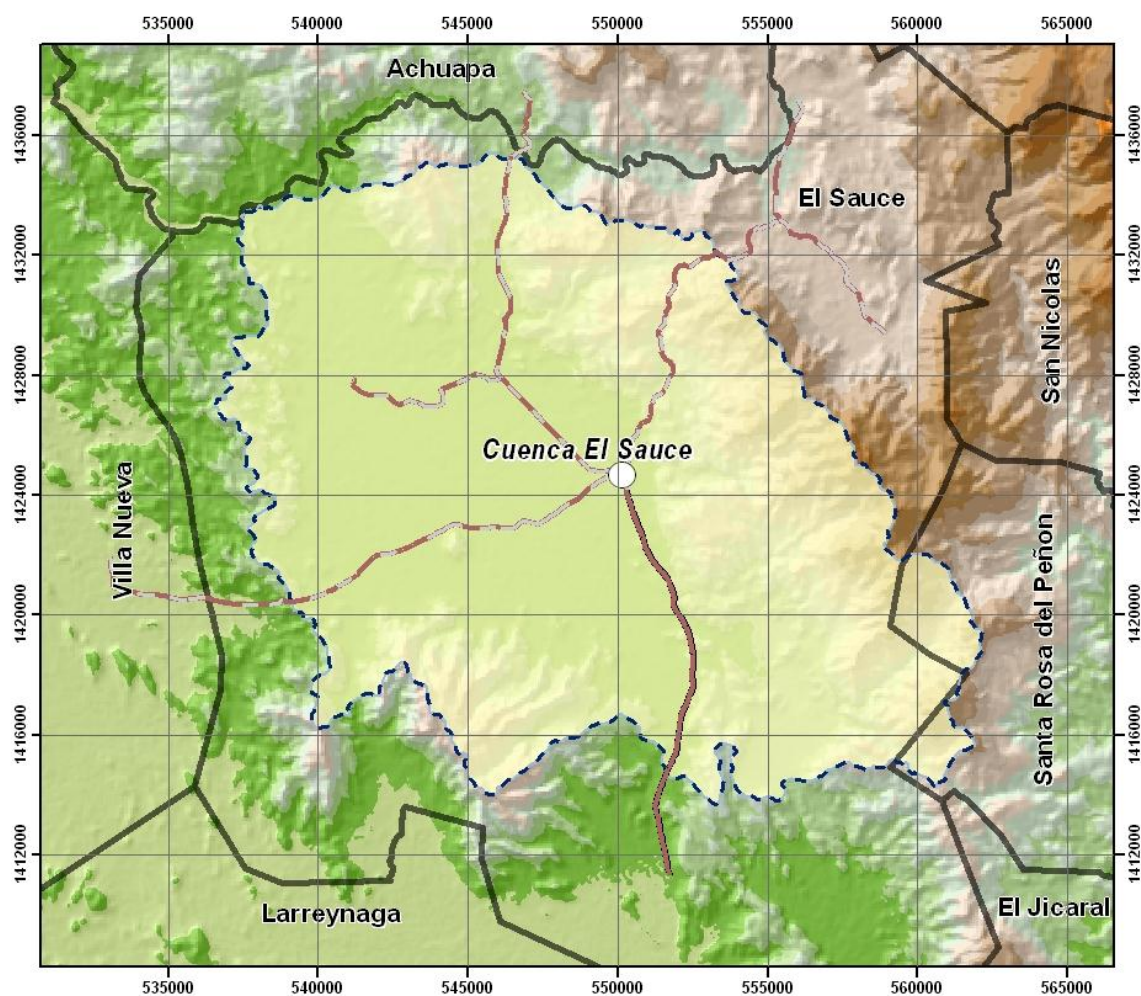


**Figura 1 . Macro localización**

### **1.1.1.2 Micro localización**

El área de estudio tiene una extensión territorial de 365.5 km<sup>2</sup>, localizado en la zona este alta de la cuenca Estero Real; específicamente en la cuenca del Río El Portillo, comprendida entre las coordenadas UTM (536579,1413503) y (562177,1435215).

En estos puntos se localizan la cuenca El Sauce, comprendida entre los municipios El sauce (97%) y Santa Rosa del Peñón (3%) respectivamente. La cuenca El Sauce, limita al norte con los municipios de Achuapa y Estelí que pertenecen al departamento de León y Estelí, respectivamente. Hacia el sur con los municipios El Jicaral y Larreynaga, del departamento de León. Al este los municipios de San Nicolás y Santa Rosa del Peñón, del mismo departamento. Finalmente, al oeste con el municipio de Villanueva que corresponde al departamento de Chinandega (Figura 2).



**Figura 2 Micro .localización**

La cabecera municipal del municipio El Sauce se encuentra en las coordenadas UTM, (550200, 1424430).

Tomando como referencia esta ciudad, se puede decir que existen cuatro vías principales que permiten el acceso a los municipios vecinos. Carreteras de todo tiempo conectan con la cabecera municipal, desde el noroeste al municipio de Achuapa, al oeste con la cabecera municipal de Villanueva, así también los municipios de Larreynaga, El Jicaral, Santa Rosa del Peñón y conexión a la capital a través de la carretera de revestimiento sólido, hacia el sur.

## **1.2 Antecedentes**

Alrededor del mundo se han llevado a cabo muchos análisis de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos, entre los cuales están Nicaragua, Canadá, EUA, Portugal, Sudáfrica entre otros.

Los acuíferos de Nicaragua constituyen la principal fuente de abastecimiento de agua, especialmente en la región del pacífico y parte de la región central del país, en estas regiones se han identificado aproximadamente 20 acuíferos (N.FENLZ-89); los cuales constituyen un potencial muy importante para el desarrollo sustentado en la explotación del agua subterránea.

En Nicaragua se han realizados dos estudios de vulnerabilidad hidrogeológica, usando el método DRASTIC.

Uno de ellos fue el estudio de Vulnerabilidad Hidrogeológica del Acuífero de Managua o Las Sierras, cubriendo una área de 1040 Km<sup>2</sup>. Comprendiendo las SubCuencas subterráneas occidental, Central y Oriental del acuífero de Managua.

Este estudio fue realizado gracias al apoyo de El Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA) y la Dirección General de la Calidad Ambiental (DGCA), con apoyo del convenio de cooperación SUWaR / Nicaragua en Octubre del año 2000.

El otro estudio fue realizado por el INETER, en el año 2007, llamado Estudio de Vulnerabilidad Hidrogeológica de la Refinería Sandino Bolívar. Fue ejecutado con el objetivo de evaluar factores y amenazas naturales, para la ubicación de la Refinería, localizada en el área costera del Municipio de Nagarote.

Según el estudio realizado por INETER, llamado Estudio de Potenciales y Calidad de los Acuíferos del Norte de León y Chinandega realizado en el año 2008 los acuíferos de estos lugares, son de bajo potencial hídrico y presentan una baja contaminación antropogénica.

También se conoce que existe déficit de agua en esta zona y no existían estudios con información integral de los recursos de las aguas subterráneas. El estudio mencionado anteriormente es el más actualizado, el cual fue realizado a una mayor escala, para la presentación de resultados a detalle.

Las actividades económicas en el Municipio El Sauce son: La agricultura, la ganadería y en menor escala el comercio, los servicios y la microempresas (Ficha Municipal del Municipio El Sauce 1997 – 2000).

### **1.3 Justificación**

Nicaragua posee abundancia de recurso hídrico debido a su posición geográfica, proporcionando altas precipitaciones. Como es bien sabido, parte de esta agua se convierte en escorrentía superficial (ríos, quebradas, etc.) y parte se infiltra almacenándose en medios hidrogeológicos subterráneos llamados acuíferos.

Para asegurarnos la sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo es necesaria una adecuada protección. Conociendo las zonas de mayor vulnerabilidad a la contaminación, pueden establecerse en ellas programas específicos de vigilancia y monitoreo sobre posibles fuentes de contaminación.

La voluntad que tienen las instituciones estatales de proteger el recurso, no se logra a plenitud por la de criterios técnicos que ayuden a los planificadores del agua, a orientar sus acciones, protección y preservación de los recursos hídricos subterráneos.

Ante esta necesidad se consideró necesario dotar a los planificadores del agua, de un instrumento basado en el conocimiento de la vulnerabilidad natural que tiene un acuífero a la contaminación ante la presencia de una carga contaminante; como un criterio importante a considerar para la protección de las aguas subterráneas (MARENA Octubre 2000).

En vista de la importancia que este recurso presenta para el país, es necesario comenzar a pensar en la protección de acuíferos para prevenir el deterioro de su calidad y brindar una atención especial, principalmente en aquellos acuíferos de relevante importancia tanto económica como hidrogeológicamente.

La vulnerabilidad hidrogeológica es una herramienta que constituye parte de la base técnica para la formulación de un plan general de protección para las aguas subterránea. Es importante considerar que para determinar el impacto que tiene una fuente contaminante (histórica, actual o futura) es necesario conocer las condiciones geológicas e hidrogeológicas y la sensibilidad que estas condiciones tienen a la contaminación.

Para la realización del estudio de vulnerabilidad hidrogeológica del acuífero de Managua se realizó una revisión de los diferentes métodos, resultando apropiada la metodología DRASTIC para aplicarlo a las condiciones de Nicaragua y pudiéndose

Para el estudio de vulnerabilidad hidrogeológica del acuífero de Managua realizó una revisión de los diferentes métodos que para este propósito han sido utilizados y se estimó que el método DRASTIC resulta apropiado para aplicarlo a las condiciones de Nicaragua y puede ser reproducible en cualquier otro acuífero del país.

Se eligió esta área debido a que anteriormente la dirección de hidrogeología de la dirección superior de recursos hídricos del INETER, había realizado un estudio hidrogeológico en la cuenca El Sauce; llamado Estudio de Potenciales y Calidad de los Acuíferos del Norte de León y Chinandega, realizado en el 2008. Otro argumento fundamental para la elección de esta área fue la carencia de estudios hídricos realizados en el Municipio El Sauce. Este estudio de vulnerabilidad hidrogeológico de la cuenca El Sauce usando el método DRASTIC, será un complemento al estudio mencionado anteriormente que a la vez será una de nuestras mayores fuentes de información para la elaboración de este trabajo monográfico.

La ubicación espacial de las áreas más vulnerables a la contaminación hidrogeológica en la cuenca El Sauce, será una herramienta confiable en la planificación y protección del recurso hídrico, a la vez será útil en la ubicación y construcción de pozos (perforados y excavados) para diferentes usos, para la localizar y construir empresas en lugares donde no haya riesgo de contaminación del acuífero y en regulación y explotación de este recurso.

Otro factor para la realización de este estudio, es el posible deterioro que poco a poco ha sufrido la cuenca, debido a la inadecuada administración que han sufrido los recursos hídricos, por el uso irracional de pesticidas, la masiva deforestación y sobre todo la deposición de desechos (Sólidos y líquidos), en lugares inadecuados como aguas superficiales, el suelo, o directamente en el subsuelo.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

REALIZAR UN ESTUDIO DE VULNERABILIDAD HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA EL SAUCE, USANDO EL MÉTODO DRASTIC.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

1. Elaborar mapas de los diferentes parámetros hidrogeológicos del Método DRASTIC, para la cuenca El Sauce.
2. Identificar diferentes escenarios hidrogeológicos de la cuenca El Sauce.
3. Elaborar el mapa de vulnerabilidad hidrogeológica de la cuenca El Sauce.



## **CAPITULO 2**

### **MARCO TEORICO**

## **2.1 Introducción**

El municipio de El Sauce forma parte de 7 subcuencas las cuales son: El portillo, Salales, Valera, Malacatoya, San Miguelito, San Marcos y Mescales, de las cuales las primeras 3 pertenecen a la cuenca del Río Grande; las 3 siguientes al Río Tecomapa; y, la última al Río Sinecapa.

El Portillo (afluente principal del Río Grande) constituye la cuenca principal cubriendo el 55% del área total del municipio (365.5 km<sup>2</sup>). Entre los principales afluentes que integran esta cuenca, y que confluyen al Río Portillo están los Ríos La Palma, Los Limones, Quebrada Seca y El Sauce, los cuales solo transportan agua durante las épocas lluviosas, permaneciendo secas la mayor parte del verano.

Se considera que el medio ambiente del municipio se ha ido deteriorando poco a poco debido a la utilización inadecuada de algunas prácticas como son: la quema indiscriminada de muchas áreas de pasto y forestales año con año, la deforestación masiva de las pequeñas áreas de bosques existentes, la utilización irracional de químicos para controlar las plagas y enfermedades de los cultivos, la pesca en ríos y quebradas con productos químicos y detonantes, la deposición de desechos sólidos en lugares inadecuados (cerca de fuentes de agua y lugares habitados) entre otros (Ficha Municipal del Municipio El Sauce 1997 – 2000). Es de aquí que se parte de la importancia de la realización de un estudio de vulnerabilidad hidrogeología en la cuenca El Sauce usando el método DRASTIC.

## **2.2 Geomorfología**

Fisiográficamente la zona pertenece en parte a la Provincial de las Montañas del Interior representadas por la precordillera y parte a la depresión de Nicaragua representado por las planicies de noroeste.

La topografía de la región está caracterizada por colinas de mediana elevación, montañas altas, crestas, mesas, escarpas, valles anchos y profundos, los cuales reflejan principalmente la estructura geológica que desempeña un papel importante en el control de la topografía.

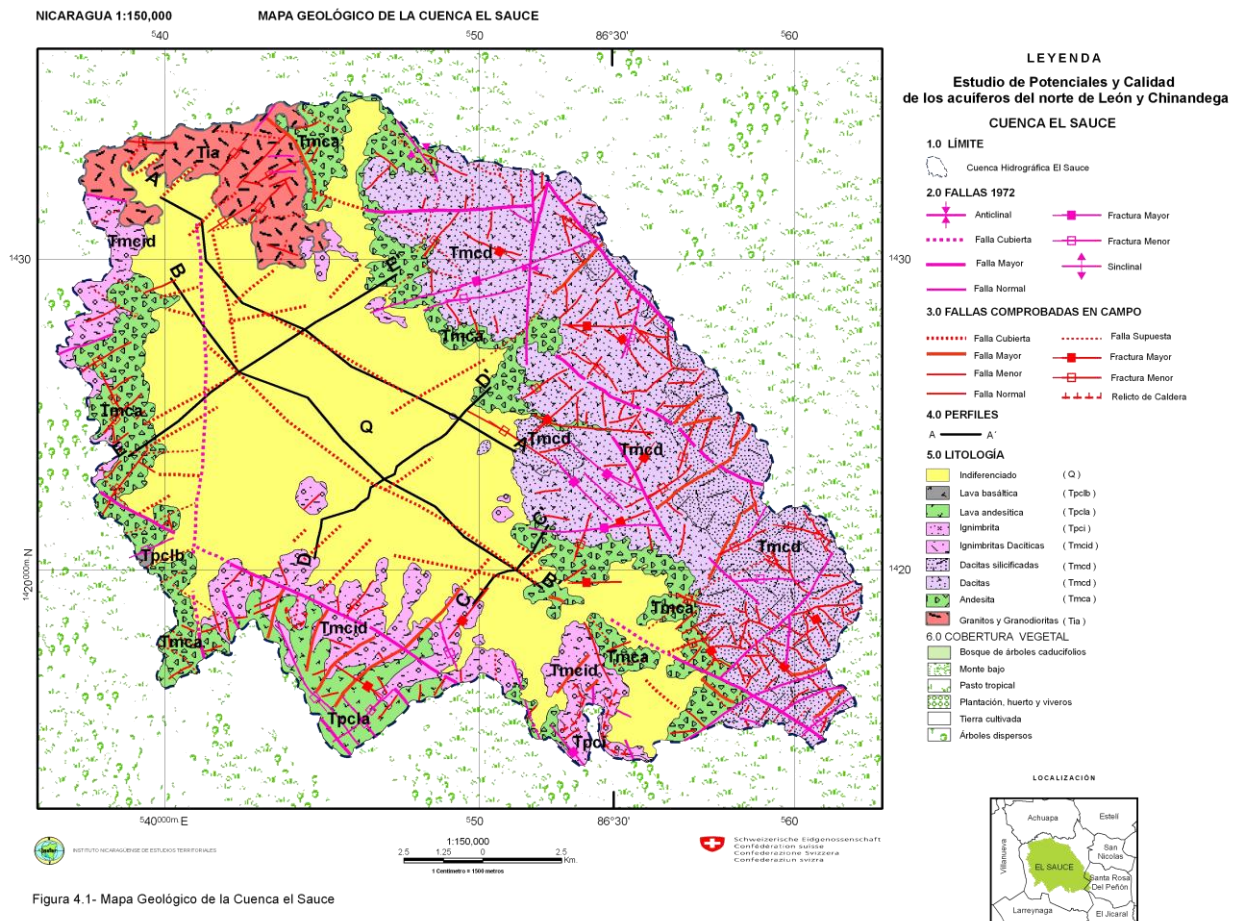
Las elevaciones principales de la cuenca se ubican en la dirección este y sureste de la Cabecera Municipal de El Sauce. Las máximas elevaciones se encuentran en Cerro El Jicote 1,118 msnm y Filo La Joyita 1,096 msnm (Cuadro 1).

**Cuadro 1 Elevaciones en la Cuenca El Sauce**

Nº	NOMBRE	Z(msnm)	Nº	NOMBRE	Z(msnm)
1	Cerro El Jicote	1,118	16	Cerro Aguacate	606
2	Fila La Joyita	1,096	17	Cerro El Carrizo	601
3	Fila El Coyal	873	18	Cerro La Pita	529
4	Cerro Portillo de Salale	867	19	Cerro Corre Viento	520
5	Cerro La Joya	865	20	Cerro La Espuela	505
6	Cerro Coralito	853	21	Lomas San Ramón	501
7	Cerro Alaniz	827	22	Loma El Bejuco	500
8	Cerro Papalón	800	23	Cerro Peña Blanca	480
9	Cerro Valencia	715	24	Cerro El Zopilote	468
10	Cerro La Calera	689	25	Cerro Agua Fría	467
11	Cerro La Palmita	681	26	Cerro Buena Vista	465
12	Cerro La Horqueta	648	27	Cerro Los Pilares	448
13	Cerro Grande	625	28	Cerro Los Lirios	428
14	Cerro El Tizate	621	29	Cerro El Zopilote	425
15	Cerro El Cascajoso	620	30	Lomas Las Mesas	405

### 2.3 Geología Superficial Local

De acuerdo al estudio realizado por la dirección de hidrogeología, del INETER (Bibliografía 8), en la siguiente figura 3, se presenta las diferentes formaciones geológicas encontradas en la cuenca El Sauce, las que se describen a continuación.



**Figura 3 Mapa Geológico de la cuenca El sauce**  
**Fuente: INETER**

### 2.3.1 Dacitas (Tmcd)

Estas rocas son las mejor distribuidas en la cuenca, se encuentran en las partes NE en los caseríos de La Chocota, Corre Viento, El Carrizo, y Las Zetas; también se localizan en la parte E y al SE del El Sauce en los poblados de El Almendro, El Guásimo, Las Mercedes, Cofradía.

### 2.3.2 Andesitas (Tmca)

Las andesitas están distribuidas por toda la cuenca, hacia el Norte de El Sauce en los caseríos de San Francisco, El Bejuco, San José, Las Pilas, La Puerta, La Palma, San Judas,

San Cayetano, La Guaruma. Hacia el Este los caseríos de La Jícara; al Sureste los caseríos de San Ramón, Las Porras, San José (Trinidad Moreno). Buscando hacia el Oeste y Suroeste en Chagüite Grande en la Comarca El Pilón, San Agustín, Jiquilillo.

### **2.3.3 Lava Andesítica (Tpcla)**

Al sur de El Sauce se encuentran lavas andesíticas del Coyol Superior en los caseríos de Los Rincones, San Marcos, Filete San Bartolo, estas lavas hacen contacto con las andesitas del Coyol Inferior en las cercanías del caserío de San Agustín y Jiquilillo.

### **2.3.4 Ignimbritas Dacíticas (Tmcid)**

Están localizadas al Sur, Suroeste y Oeste de El Sauce, en los caseríos de Dinamarca, Los Tololos, Los Cocos, Mesa de Piedra, La Ramada, Agua Fría, Los Jobitos, Las Cañas. Se encuentran bien meteorizadas y fracturadas con alteraciones hidrotermales.

### **2.3.5 Ignimbritas (Tpci)**

Estas rocas afloran al Sur de El Sauce en el Sitio El Pedregal y son escasas en el área de estudio. Estas rocas forman parte de antiguas calderas existentes desde el Pleistoceno, pertenecientes al Grupo Coyol Superior.

### **2.3.6 Cuaternario Indiferenciado (Q)**

El Cuaternario indiferenciado formado por aluviones antiguos, de diferente composición como suelos arcillosos por la degradación de las andesitas al Oeste y Suroeste de El Sauce, suelos arcillo arenosos por la erosión de las andesitas, ignimbritas y dacitas al Sur, Sureste y Norte de El Sauce. Hacia el Noroeste de El Sauce se encuentran sedimentos arenosos producto de la erosión de las granodioritas. Otra característica de esta meteorización es el contraste de los suelos areno-arcillosos claros con los suelos rojizos de las andesitas, y diques pegmatíticos que son más resistentes a la meteorización. El espesor de estos sedimentos oscila entre 3 a 89 m aproximadamente.

### **2.3.7 Rocas Intrusivas (Tia)**

En el área se encuentran aflorando rocas intrusivas ácidas granodioríticas, localizadas al Noroeste de El Sauce en los sitios Los Loros, Los Encuentros, Chagüite Grande, El Papalón, Los Lirios, Piedra Partida. Generalmente las rocas son holocristalinas de textura granular hipidiomórfica de grano grueso, medio a fino y color variable desde gris claro, oscuro a negro y rosado.

## **2.4 Medio Hidrogeológico**

El acuífero de El Sauce está relacionado con rocas del Terciario y Sedimentos del Cuaternario de diferente granulometría, los cuales cubren estas rocas terciarias y donde se localizan sitios relativamente profundos los que están relacionados con el intenso fracturamiento, alteración y meteorización de las rocas.

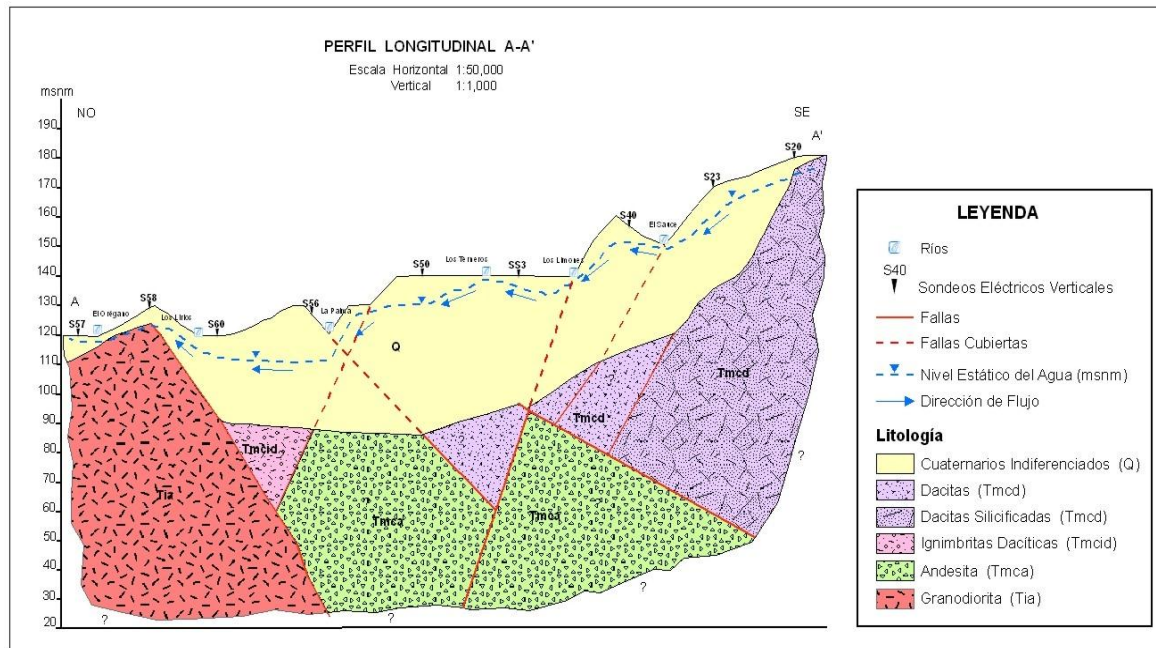
De esta composición litoestratigráfica se derivan las siguientes unidades del medio hidrogeológico.

### **2.4.1 Unidad de Sedimentos Cuaternario**

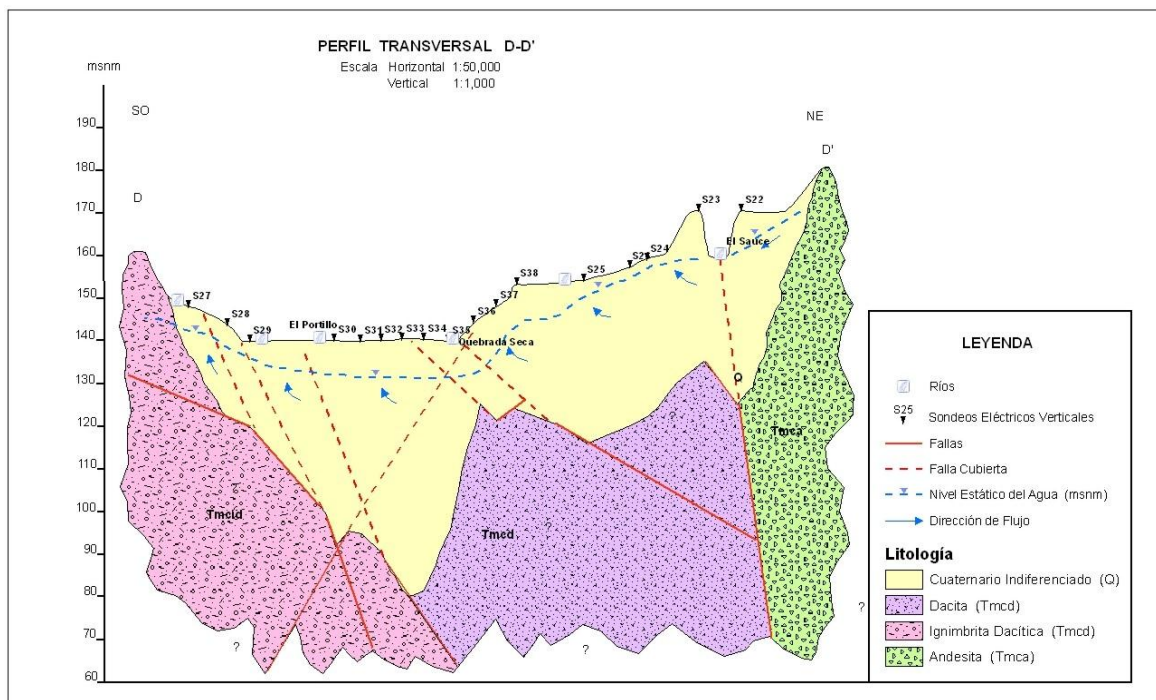
Está compuesta de sedimentos Cuaternario de diferente granulometría como arcillas, arcillo arenosos, arenoso, etc., estos sedimentos son producto de la meteorización y erosión de las rocas, y su posterior deposición en la partes bajas, así como suelos residuales de rocas altamente alteradas. Estos sedimentos tienen poco espesor el cual oscila entre 3 a 89 m aproximadamente (Figuras 4 y 5).

### **2.4.2 Unidad de Rocas del Terciario**

Se constituye de Rocas del Terciario fracturadas, meteorizadas y alteradas hidrotermalmente como andesitas (Tmca), dacitas (Tmcd), ignimbritas dacíticas (Tmcid), intrusivos ácidos como granodioritas. Las dacitas silicificadas blanquecinas y deleznales, son evidencia de la alteración hidrotermal que es afectada parte de la cuenca. Estas rocas tienen permeabilidad secundaria alta por estar muy fracturadas. (Figuras 4 y 5)



**Figura 4 Perfil Hidrogeológico Longitudinal de NO al SE dentro del valle El Sauce**  
Fuente: INETER, 2008



**Figura 5 Perfil Hidrogeológico Transversal de SO al NE dentro del valle El Sauce.**  
Fuente: INETER, 2008

## **2.5 Vulnerabilidad Hidrogeológica**

La vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación es una propiedad difícil de determinar y depende de la interacción entre diferentes factores, como profundidad del nivel freático o techo del acuífero, la capacidad de atenuación de las capas litológicas sobrepuestas al acuífero, la tasa de recarga y otros factores. Alrededor del mundo se han propuesto diferentes modelos para la determinación de la vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero. Estos son modelos matemáticos y hacen uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para generar mapas de vulnerabilidad y de esta forma, tomando en cuenta la amenaza, estimar el riesgo de contaminación. Estos mapas forman parte de un conjunto mayor de información, necesaria para el manejo racional de los recursos hídricos, tomando en cuenta tanto la administración como la protección de dicho recurso.

Mapas de vulnerabilidad hidrogeológica se han desarrollado a diferentes escalas y en diferentes países y regiones.

### **2.5.1 Concepto de Vulnerabilidad**

Específicamente en el caso de riesgo a la contaminación de un acuífero; Foster (1991) lo define como la interacción entre:

- 1) La carga contaminante que es, será o pudiera ser aplicada al subsuelo como resultado de una actividad humana.
- 2) La vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación, debido a las características naturales de los substratos que lo separan de la superficie.

Debe tenerse claro que el riesgo de contaminación es entendido como la probabilidad de que las aguas subterráneas alcancen niveles químicos inadecuados, bacterias, virus, etc. por encima de los cuales peligre la salud humana.

La vulnerabilidad por su parte puede entenderse como la sensibilidad en la calidad del agua subterránea ante una carga contaminante impuesta, la cual es determinada por las



características intrínsecas del acuífero. Por lo tanto la vulnerabilidad es inversa a la capacidad de atenuación de contaminantes del acuífero.

En el ámbito de las aguas subterráneas el riesgo de contaminación está formado por la interacción de dos partes:

1. La pasiva, representada por la vulnerabilidad, que no depende de la actividad humana y no cambia perceptiblemente con el tiempo.
2. La activa, representada por la amenaza, que depende directamente de la actividad humana en la superficie o subsuperficie y puede cambiar con el tiempo.

Este concepto es equivalente a la definición de Foster de riesgo de contaminación de un acuífero. Sin embargo se debe ser cuidadoso con la definición de activo y pasivo. La actividad humana puede cambiar características "intrínsecas" del acuífero, como la capacidad de atenuación de las capas sobre el acuífero, el mecanismo de recarga y el espesor de suelo. La amenaza por su parte tampoco es siempre activa. En el sentido estricto de la palabra una ciudad puede cambiar, pero difícilmente dejará de ser ciudad, por lo tanto la amenaza no desaparecerá, por el contrario, normalmente aumentará con el crecimiento de la ciudad.

### **2.5.2 Métodos para determinación la vulnerabilidad**

Existen diversos métodos para determinar vulnerabilidad hidrogeológica a la contaminación de los acuíferos. Los métodos DRASTIC, GOD, SINTACS, AVY son los más utilizados internacionalmente. Estos métodos buscan determinar la vulnerabilidad natural del acuífero de la manera más objetiva posible, utilizando rangos de clasificación definidos para cada una de las variables.

### 2.5.3 Método DRASTIC

El método DRASTIC fue desarrollado por Aller et al (1987), patrocinado por la Agencia de Protección de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en ingles), con el objetivo de evaluar la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos. Es un método de uso muy difundido, tanto para la cualificación (evaluación cualitativa) como para la elaboración de mapas y se basa en la asignación de índices que van de 1 a 10, de acuerdo a las características y el comportamiento de los parámetros considerados (figura 6). El índice 1 indica la mínima vulnerabilidad y el 10 la máxima.

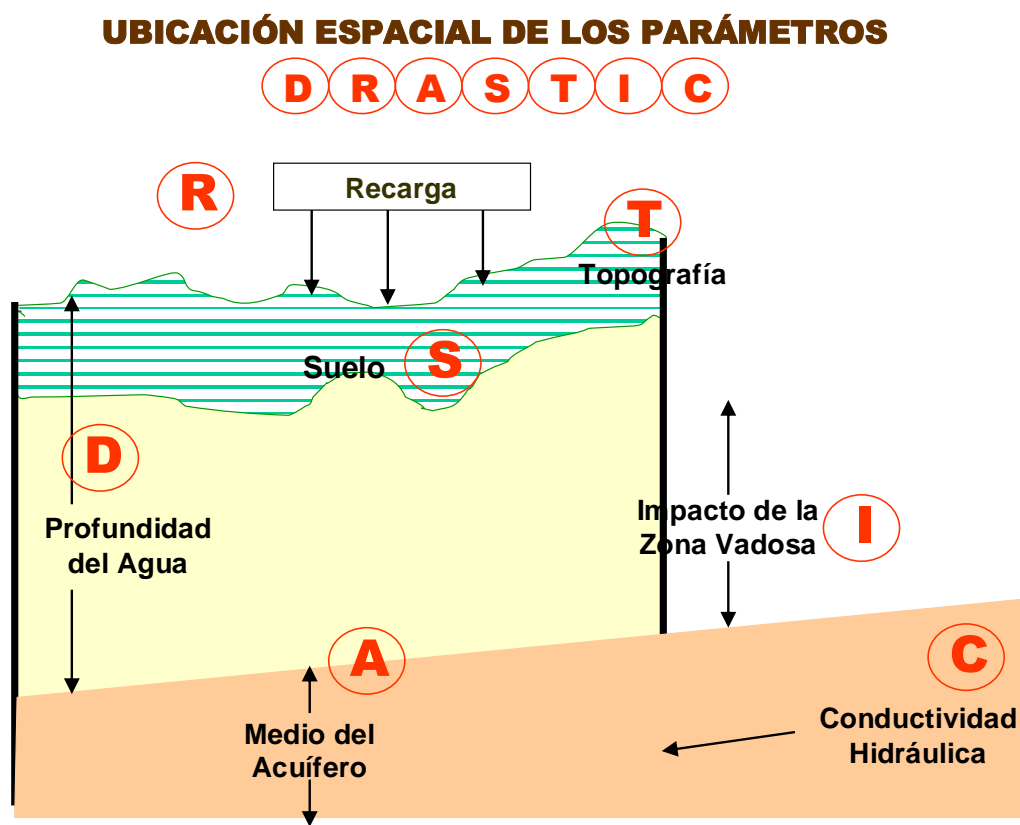


Figura 6 Ubicación espacial de los Parámetros.  
Fuente: Metodología DRASTIC

A continuación, en el cuadro 2 se muestra el peso asignados a cada parámetro de acuerdo a su importancia.

**Cuadro 2**

<b>PESOASIGNADOS A CADA PARAMETRO DE ACUERDO A SU IMPORTANCIA</b>	
<b>PARAMETRO</b>	<b>PESO</b>
Profundidad del Agua	5
Recarga Neta	4
Medio del Acuífero	3
Medio del Suelo	2
Topografía	1
Impacto de la Zona Vadosa	5
Conductividad Hidráulica	3

#### **2.5.3.1 Profundidad del agua subterránea (D)**

Este parámetro considera la profundidad del nivel piezométrico en el caso de un acuífero libre o del techo del acuífero para uno confinado. La vulnerabilidad disminuye con la profundidad. En su valoración pueden emplearse datos de puntos de agua, estudios hidrogeológicos y medidas de campo.

**Cuadro 3**

<b>PROFUNDIDAD DEL AGUA (D)</b>	
Profundidad (m)*	Clasificación Dr
0 – 1.5	10
1.5 – 4.6	9
4.6 – 9.1	7
9.1 – 15.2	5
15.2 – 22.9	3
22.9 – 30.5	2
>30.5	1
Tipo	Ponderación D <sub>w</sub>
Pesticida	5
No Pesticida	5

### 2.5.3.2 Recarga (R)

Considera la recarga anual, se puede determinar con métodos convencionales de balance y en general se puede emplear la documentación existentes cuando las áreas estudiadas afectan a Unidades Hidrogeológicas o acuíferos definidos.

**Cuadro 4**

<b>RECARGA NETA (R)</b>	
Recarga (mm)	Clasificación Rr
0 - 50	1
50 - 103	3
103 - 178	6
178 - 254	8
>254	9
Tipo	Ponderación
Pesticida	4
No Pesticida	4

### 2.5.3.3 Medio del acuífero (A)

**Cuadro 5**

<b>MEDIO ACUÍFERO (A)</b>		
Tipo de acuífero	Rango de clasificación $A_r$	Valor típico $A_r$
Lutita masiva	1 – 3	2
Metamórfica/Ignea	2 – 5	3
Metamórfica/Ignea meteorizada	3 – 5	4
Till glacial	4 – 6	5
Secuencias de arenisca, caliza y lutitas	5 – 9	6
Arenisca masiva	4 – 9	6
Caliza masiva	4 – 9	6
Arena o grava	4 – 9	8
Basaltos	2 – 10	9
Caliza karstica	9 – 10	10
Tipo	Ponderación $A_w$	
Pesticida	3	
No pesticida	3	

Valora la litología que constituye el acuífero, considerándose que a mayor granulometría y fracturación, mayor permeabilidad y por tanto un grado de vulnerabilidad más elevado. Cuando existen varios acuíferos superpuestos siempre se valora el superior.

### 2.5.3.4 Tipo de suelo (S)

El suelo influye en el desplazamiento vertical del contaminante hacia el acuífero. Para este parámetro se considera la porción alterada del suelo que soporta la actividad biológica.

**Cuadro 6**

<b>MEDIO DEL SUELO (S)</b>	
Tipo de suelo	Clasificación S <sub>r</sub>
Delgado o ausente	10
Grava	10
Arena	9
Agregado arcilloso o compactado	7
Arenisca margosa	6
Marga	5
Limo margoso	4
Arcilla margosa	3
Estiércol – cieno	2
Arcilla no compactada y no agregada	1

#### **2.5.3.5 Topografía (T)**

Se conoce como topografía a la variación de la pendiente la cual esta expresada en porcentaje. Su influencia consiste en que permite que un contaminante depositado sobre la superficie del suelo se escurra o permanezca el tiempo suficiente en la superficie para lograr infiltrarse a través de la zona no saturada y llegar al manto acuífero.

**Cuadro 7**

<b>TOPOGRAFÍA (T)</b>	
Pendiente (%)	Clasificación $T_r$
0 – 2	10
2 – 6	9
6 – 12	5
12 – 18	3
> 18	1
Tipo	Ponderación $T_w$

#### **2.5.3.6 Impacto en la zona vadosa ó no saturada (I)**

Se define como la zona del sistema acuífero que no está saturada o que tiene una saturación discontinua, donde el papel principal lo juega el material litológico y el espesor, lo cual determina la distancia, ruta y el tiempo del recorrido de la carga contaminante hacia la zona saturada.

**Cuadro 8**

<b>IMPACTO DE LA ZONA NO SATURADA (I)</b>		
Tipo de medio	Rango de clasificación $I_r$	Valor típico $I_r$
Capa confinante	1	1
Cieno – arcilla	2 – 6	3
Lutita	2 – 5	3
Caliza	2 – 7	6
Arenisca	4 – 8	6
Secuencias de arenisca, caliza y lutita	4 – 8	6
Arena o grava con contenido de cieno y arcilla significativo	4 – 8	6
Metamórfica/Ignea	2 – 8	4
Arena y grava	6 – 9	8
Basalto	2 – 10	9
Caliza karstica	8 – 10	10
Tipo	Ponderación $I_w$	
Pesticida	4	
No pesticida	5	



### 2.5.3.7 Conductividad hidráulica (C)

**Cuadro 9**

<b>CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (C)</b>		
Conductividad Hidráulica		Clasificación $C_r$
(m/día)	(cm/s)	
0.04 – 4.08	$4.6 \times 10^{-5} - 4.7 \times 10^{-3}$	1
4.08 – 12.22	$4.7 \times 10^{-3} - 1.4 \times 10^{-2}$	2
12.22 – 28.55	$1.4 \times 10^{-2} - 3.4 \times 10^{-2}$	3
28.52 – 40.75	$3.4 \times 10^{-2} - 4.7 \times 10^{-2}$	6
40.75 – 81.49	$4.7 \times 10^{-2} - 9.5 \times 10^{-2}$	8
> 81.49	$> 9.5 \times 10^{-2}$	10
Tipo		Ponderación $C_w$
Pesticida		2
No pesticida		3

La conductividad hidráulica, es la propiedad que tiene un medio poroso y/o fracturado, en permitir la circulación del agua a través de si por unidad de tiempo y bajo un gradiente hidráulico determinado.

## 2.6 Modelos de contaminación del agua subterránea

Las condiciones óptimas para la contaminación de los reservorios de agua subterránea se dan en los escenarios geológicos donde el nivel freático intercepta o está próximo a la superficie. Esto le permite al contaminante estar en contacto directo con el agua subterránea.

Otro aspecto sensible a la contaminación lo constituyen las zonas de fallas, debido a que favorecen la rápida infiltración de los contaminantes, los que eventualmente entran al medio hidrogeológico a medida que en las zonas de fallas, el flujo del agua subterránea muestra tendencia de ir hacia arriba.

Asimismo el recurso del suelo urbano y sub urbano está sujeto a la influencia de las actividades humanas afectando los reservorios de agua.

La urbanización acelerada promueve la impermeabilización del suelo aumentando así la escorrentía superficial y con esto la contaminación en las zonas de descarga por sedimentos y materia orgánica como sub producto de la reducción en la tasa de infiltración, lo que a su vez impacta en el agua subterránea al no permitir la renovación del recurso en los reservorios.

## **2.7 Transporte de la contaminación en un medio acuífero**

El transporte de contaminante en un medio acuífero está en función de las características hidrogeológicas de cada medio y de las propiedades de retardación, degradación del contaminante desde el momento de su disposición hasta su llegada al agua subterránea. Existe una variedad de sustancias provenientes de diferentes actividades que pueden contaminar el agua subterránea. Estas pueden llegar hasta el agua al ser colocadas sobre la superficie del suelo, enterrados en el suelo, o depositados directamente en el acuífero.

Al depositar el contaminante en la superficie de la tierra, se puede infiltrar a través del suelo llegando a la zona vadosa y posteriormente penetrar al acuífero. Una vez que el contaminante alcanza el acuífero, éste puede desplazarse con el agua subterránea, viajar más despacio que el agua, flotar sobre la superficie de esta ó sumergirse a través del acuífero hasta alcanzar el fondo, según las características físicas del contaminante tales como la densidad.

A medida que el contaminante se desplaza a través del sistema, sufre una atenuación mediante los procesos de dilución, dispersión, filtración mecánica, volatilización, descomposición, precipitación, intercambio de iones etc. La atenuación de un contaminante está en función del tiempo que el contaminante permanece en contacto con el material litológico, la granulometría, al igual que las características físicas, químicas y biológicas de los materiales que componen los estratos de la formación geológica por el pase del contaminante.

Cuando los materiales litológicos tienen propiedades desfavorables para el transporte de contaminante con un espesor significativo por encima del nivel freático, hay un incremento en la probabilidad de la atenuación.

Los procesos de dilución, atenuación y dispersión están en dependencia de la tasa y recarga del contaminante aplicado, al igual que de las características propias del contaminante y de las propiedades hidrogeológicas de los materiales que se encuentran en el área de estudio.

La zona vadosa o no saturada es de vital importancia porque constituye el principal frente de defensa natural que protege de la contaminación a las aguas subterráneas, por su posición espacial entre la superficie del suelo y manto acuífero.

Los procesos de atenuación de los contaminantes disminuyen progresivamente a medida que se profundiza en la zona no saturada.

Esta protección natural al igual que el transporte de contaminación estará siempre en función de las características de las formaciones geológicas presentes en el área.

El impacto de un episodio de contaminación móvil y persistente es un proceso lento que puede tardar desde años hasta décadas antes de que llegue a ser aparente. La infiltración, la permeabilidad, la porosidad y las propiedades fisicoquímicas del contaminante son las que determinan la capacidad de transporte en la zona no saturada como en la zona saturada.

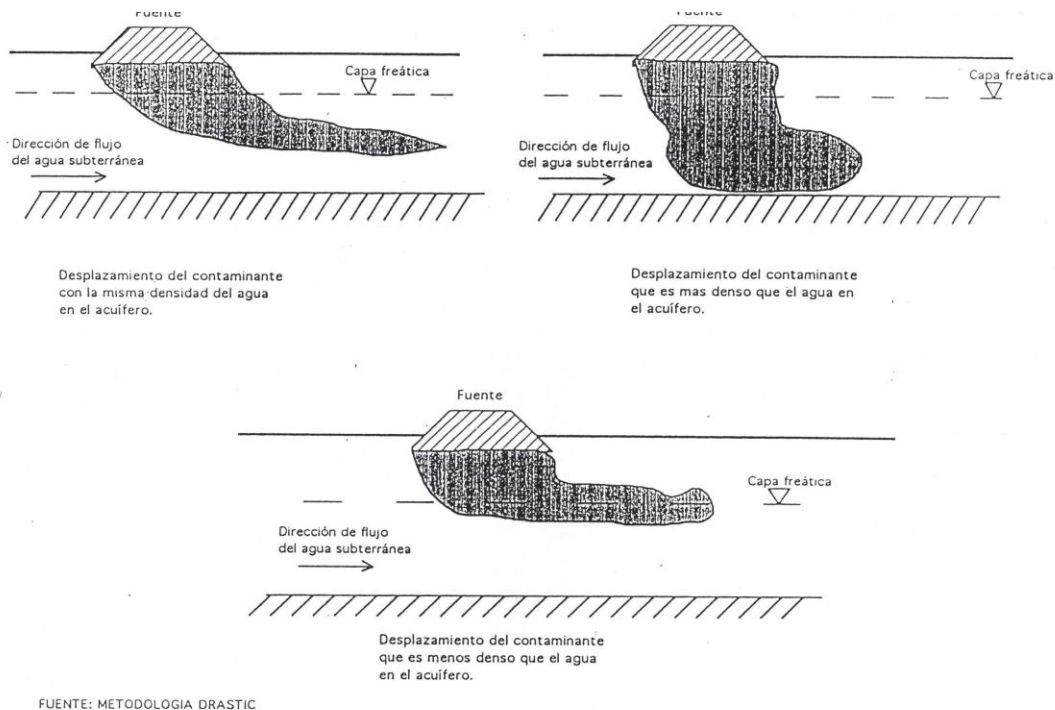
Otro aspecto a considerar es la densidad y solubilidad de un contaminante con relación al agua, lo que puede determinar la capacidad de este a ser miscible (capacidad de mezclarse) con la misma.

Pueden presentarse tres casos típicos de transporte de contaminantes, que dependen de la densidad del mismo respecto al agua:

1. cuando el contaminante es menos denso que el agua, este se transportaría sobre la capa freática (flotaría)
2. cuando el contaminante tiene igual densidad respecto al agua, se podría mezclar y viajar a la misma velocidad del agua.
3. Cuando el contaminante es más denso que el agua, este se sumerge hasta el fondo del acuífero (Figura 7).

Estos casos están en función de i) La tendencia a ser degradados o transformados, ii) la concentración relativa del contaminante, iii) la profundidad a que el contaminante es depositado bajo la superficie del suelo, iv) el tiempo durante el cual se ha aplicado la carga contaminante.

Un ejemplo es el comportamiento de las sales en el agua subterránea, que por su movilidad y persistencia tiene mayores posibilidades de alcanzar el manto acuífero. Una de las causas de salinidad es el lixiviado y la disolución de las rocas que integran la formación geológica; y otra causa son los efectos de irrigación y aplicación de fertilizantes en la agricultura, que constituyen a la salinización del suelo y el agua subterránea.



**Figura 7 Desplazamiento del contaminante en el agua según su densidad**

## **CAPITULO 3**

### **DISEÑO METODOLÓGICO**

### **3.1 Introducción**

Para la realización del trabajo monográfico Vulnerabilidad Hidrogeológica de la Cuenca El Sauce usando el método DRASTIC, primero se realizará una etapa de obtención de la información, relacionada a actividades de gabinete: recopilación bibliográfica, exploración en INTERNET, visita a instituciones. La información recopilada, procesada y analizada tiene relación con la geología, litología, hidrología, hidrogeología, topografía, recarga, tipo de suelos; así como datos de niveles estáticos, niveles piezométricos, transmisividad, pruebas de bombeo, entre otra información de pozos analizados para este estudio.

### **3.2 Elaboración de mapas de los diferentes parámetros hidrogeológicos de la cuenca El Sauce**

La obtención de la información para cada parámetro se obtendrá de la siguiente manera:

#### **3.2.1 Profundidad del agua (D)**

Para la determinación del nivel del agua subterránea se utilizará la información de pozos medidos in situ, cuyo número código y coordenadas posee INETER, en la dirección de hidrogeología.

Algunos de estos datos serán actualizados en campo. Esta información debidamente actualizada, contendrá la profundidad a la que fueron detectados los niveles del agua subterránea, además de la ubicación geográfica de los pozos.

#### **3.2.2 Recarga neta (R)**

La estimación de la recarga se elaborará en base a estudios previos de unidades geológicas del área de estudio, la precipitación media anual y un coeficiente de infiltración para cada unidad geológica.

Este coeficiente se obtuvo a través 19 pruebas de infiltración realizadas en la cuenca El Sauce, el valor de recarga para cada zona será suministrado por la dirección de hidrogeología del INETER. Se realizaron 9 pruebas de infiltración por el método de los cilindros infiltrómetros

y 10 por el método de Porchet, estas últimas se elaboraron por este método, debido a que las propiedades del terreno eran apropiadas para esta metodología.

### **3.2.3 Medio del acuífero (A)**

Este se define como la zona saturada del agua que ocupa el espacio de los poros o fracturas. Se encuentra por debajo de la zona vadosa o no saturada.

Por lo general mientras mayor sea permeabilidad primaria (poros de las rocas) y mayor permeabilidad secundaria (grado de fracturamiento), mayor será el potencial de contaminación del acuífero.

Como base se tomará la descripción litológica de los pozos perforados del cuadro 23 del anexo A, se elaboraran dos perfiles hidrogeológicos (uno transversal y otro longitudinal, ver figura 9 y 10 de anexo B), estos con el fin de identificar las diferentes capas que poseen los pozos en el eje Z, posteriormente se digitalizaran estos perfiles y se delimitaran las áreas correspondientes a cada tipo de material. También se estudiará la geología superficial para obtener un mejor análisis sobre el comportamiento del material geológico en la superficie y el subterráneo del área en estudio, luego se hará comparación con el material geológico propuesto en la metodología DRASTIC.

### **3.2.4 Medio del suelo (S)**

La información de suelos en parte será proveniente de la dirección de ordenamiento territorial, del INETER, la cual resultara apropiada para los fines de este estudio, debido a que describe características del suelo tales como textura, profundidad radicular, pendiente, series de suelos, foto mapas, entre otras cosas.

También se analizaran las pruebas de infiltración mencionadas anteriormente en el parámetro de recarga. Se ubicaran los puntos donde fueron realizadas dichas pruebas y serán ploteados en la cuenca, posteriormente se hará análisis de similitud entre las texturas encontradas en el área de estudio y las propuestas por la metodología DRASTIC, después se delimitaran áreas

consolidadas con texturas diferentes y se digitalizaran estas zonas con la herramienta del Editor mencionada anteriormente.

### **3.2.5 Topografía (T)**

Para la generación del mapa de pendiente primeramente se elaborará un Modelo Digital de Elevación (DEM), con ayuda del software ArcGis 9.3 tomando como base el DEM de Nicaragua de 90mts que el que fue suministrado de la base datos de la dirección de hidrogeología del INETER, se reducirá el tamaño de celda a 10mts (lo que quiere decir que en cada píxel hay información de elevación de 100 mtrs<sup>2</sup>), esto se hará debido a que entre mayor es el tamaño de celda, mayor es la cantidad de información almacenada por cada celda o píxel, generalizando así los datos en valores únicos.

Después el DEM, que sus unidades de medida son msnm, se convertirá a un archivo raster de pendiente esto se hará con la herramienta de análisis espacial del Arcgis llamada slope, la cual nos dará este imagen raster que tendrá una unidad de medida en %, posteriormente se normalizaran los rangos de pendiente con diferentes escalas de elevación, buscando rangos donde mejor se aprecie la topografía del terreno para una mejor visualización de las pendientes.

### **3.2.6 Impacto de la zona vadosa (I)**

El análisis de la zona vadosa, al igual que el parámetro del medio del acuífero, se realizará con apoyo del mapa geológico del área de estudio. Con la elaboración de los dos perfiles hidrogeológicos mencionados anteriormente se obtendrá una mejor interpretación y la ubicación espacial de los materiales litológicos para este parámetro. En ubicación espacial de este parámetro se determinó que el nivel freático del acuífero sería el límite inferior y como límite superior la superficie del terreno.

### **3.2.7 Conductividad hidráulica (C)**

La conductividad hidráulica, es la propiedad que tiene un medio poroso y/o fracturado, en permitir la circulación del agua a través de si por unidad de tiempo y bajo un gradiente hidráulico determinado. La condición que controla la conductividad hidráulica, es el grado de



interconexiones entre los espacios vacíos en el medio acuífero, ya sea de porosidad primaria o secundaria (conexión intergranular).

Para la determinación de la conductividad hidráulica, se analizarán pozos perforados con datos hidráulicos (cuadro 10) para observar ubicación e interconexión entre estos. Con esta información se tendrá una base para observar las diferencias de conductividades hidráulicas en la cuenca El Sauce.

También se analizará el basamento hidrogeológico (fondo del acuífero o del material cuaternario) de la cuenca El Sauce, debido a que existe una relación proporcional entre este y la conductividad hidráulica, la cual es que, a mayores espesores saturados, mayores conductividades hidráulicas (fuente; especialistas de la dirección de hidrogeología del INETER).

Se asignaran valores de conductividad hidráulica a los pozos mencionados anteriormente según su valor descrito, también se generaran puntos en algunos sectores de la cuenca, posteriormente se le asignaran valores de conductividad hidráulica mayores a las áreas donde haya menor valor de basamento hidrogeológico y/o haya mayores espesores saturados y a las áreas con mayor valor de basamento se le asignara un valor menor.

Esto se hará debido a la insuficiente información de los pozos perforados con datos hidráulicos en el área de estudio, y sustentado por la relación de proporción mencionada anteriormente.

Posteriormente se generara una interpolación de los puntos para generar áreas de conductividad hidráulica con diferentes rangos. Esta interpolación se hará con la herramienta llamada Geostatistical Analyst, que es parte del software Arcgis 9.3.

**Cuadro 10 Pozos perforados con datos hidráulicos**

NUMERO	ESTE	NORTE	PROF (m)	NEA (m)	b (m)	NEA (msnm)	T (m <sup>2</sup> /d)	K (m/d)	KD (m/d)
1	549057	1424302	16.5	3.5	13	155.5	72	6	2
2	548857	1424202	96	7.6	88.4	149.4	600	7	3
3	553823	1418473	54.4	10.4	44	194.6	50	1	1
4	547432	1422859	42.7	7	35.7	144	190	5	2
5	546941	1422965	41.1	10	31.1	139	340	11	2
6	546040	1431696	24.4	5.5	18.9	197.5	60	3	1

Fuente: INETER. Bibliografía 8

### 3.2.8 Sistema Numérico

El sistema numérico que se utilizara en la aplicación del método DRASTIC, permite la identificación relativa de la vulnerabilidad del acuífero en el ámbito de un escenario hidrogeológico. Este sistema numérico consta de tres partes principales: Pesos, Escalas y Calificación. Haciendo uso de estos tres elementos evaluativos, se puede llevar a obtener el Valor Numérico DRASTIC (VND) y posteriormente el Índice DRASTIC (ID).

1. **Peso:** El peso es un valor numérico relativo que se le asigna a cada parámetro con relación a otro de acuerdo a la importancia que tiene en el proceso de mitigación de la contaminación de un acuífero. Se otorga el máximo peso a los de mayor incidencia y menor peso a los menos significativos. Estos pesos ya están establecidos por la metodología y no pueden ser modificados.
2. **Escala:** Las escalas son los rangos en que se subdivide cada parámetro en base a las condiciones físico natural en que se presenta el parámetro en el medio y el impacto relativo que esta condición juega en la sensibilidad natural del acuífero. Estos rangos se encuentran establecidos por el método y son los que definen las subáreas de los parámetros.
3. **Calificación:** La calificación son los valores que se asigna a las subdivisiones por rangos que se realizan en cada parámetro, estos valores pretenden pesar la importancia del parámetro en la condición físico – natural en que se encuentra el medio.

El valor numérico DRASTIC (VND) en cada parámetro se obtiene multiplicando el peso por la calificación que se le asigne a cada área. Este proceso permite obtener un mapa de valor numérico DRASTIC para cada parámetro.

En términos matemáticos el índice DRASTIC se expresa así:

$$D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w = \text{Índice DRASTIC}$$

r = Clasificación

w = Peso

### **3.3 Identificación de los diferentes escenarios hidrogeológicos de la Cuenca El Sauce.**

Después de la elaboración de los mapas temáticos de cada uno de los parámetros, se determinaran diferentes escenarios hidrogeológicos de la cuenca El Sauce, esto se elaborará a través del proceso de sobreposición de las capas temáticas de cada parámetro que analiza la metodología DRASTIC, el proceso será el siguiente:

1. Se sobrepondrá cada una de las siete capas, ordenadas de tal manera que se forme las siglas del nombre del método.
2. Se dará transparencia a las capas con el objetivo de visualizar áreas compartidas entre ellas, posteriormente se digitalizaran estas áreas.
3. Se delimitaran escenarios hidrogeológicos únicos, compartidos para los siete parámetros (Profundidad del agua freática, Recarga neta, Medio de acuífero, Medio de suelo, Topografía, Impacto en la zona vadosa, Conductividad hidráulica)

Se realizarán agrupaciones de escenarios hidrogeológicos para obtener escenarios de mayor comprensión espacial en base a los siguientes criterios:

1. Se agruparán escenarios con características geológicas e hidrogeológicas muy similares y con muy poca diferencia en sus índices DRASTIC desde el punto de vista cualitativo.
2. Se agruparan escenarios con igual índice DRASTIC.

### **3.4 Elaborar el mapa de vulnerabilidad hidrogeológica de la cuenca El Sauce.**

Después de la agrupación de los escenarios hidrogeológicos conformaremos las zonas de vulnerabilidad hidrogeológica. Estas zonas quedarán compuestas por tres rangos de vulnerabilidad los cuales son: alta vulnerabilidad, modera vulnerabilidad y baja vulnerabilidad. Los valores para cada rango estarán en dependencia de los índices DRASTIC calculados.

La elaboración del mapa de vulnerabilidad hidrogeológica de la El Sauce se hará con la ayuda del software ArcGis, 9.3, se trabajara en la interfaz de ArcMap, la cual es la aplicación central de ArcGis. Este módulo permite la visualización, consulta, análisis y presentación de datos geográficos.

La agrupación de estos escenarios se realizará con la herramienta de Geprocesamiento llamada “Merge” cuya funcionalidad es unificar dos o más polígonos para convertirlos en uno solo. Con esta unión se conformaran zonas de vulnerabilidad más consolidadas, las que tendrán tonalidades únicas por cada rango de vulnerabilidad, el cual fue mencionado anteriormente, y serán plasmadas posteriormente en el mapa de vulnerabilidad de la cuenca El Sauce usando el método DRASTIC, el cual es el trabajo final de tesis.

## **CAPITULO 4**

### **RESULTADOS OBTENIDOS**

## **4.1 Características de los parámetros hidrogeológicos de la cuenca El Sauce**

### **4.1.1 Profundidad del Agua**

La profundidad del agua en el proceso de atenuación de un contaminante es importante porque determina el espesor del suelo y subsuelo que el contaminante debe de atravesar hasta llegar al acuífero. Dicho de otra manera esto implica que las posibilidades de degradación del contaminante aumentan con la profundidad del agua ya que significa mas contacto con las formaciones geológicas en dependencia del medio.

Para la obtención de estas áreas, primeramente se interpoló el dato del NEA (Nivel estático del agua) de los pozos (Perforados y Excavados, ver cuadro 20 y 21 de anexo A), inventariados para el estudio (bibliografía 8), excluyendo los pozos perforados con valores de NEA de 20 y 24m de profundidad, los cuales se identifican con el código 33 y 40 (código de inventario de la dirección de hidrogeología del INETER), y están ubicados en la localidad de San Ramón.

Estos pozos se eliminaron de la interpolación debido a que el valor de NEA es mayor a la media aritmética de los demás pozos inventariados en la cuenca El Sauce, lo cual se puede corroborar en los cuadro mencionados anteriormente, esta exclusión se hizo con el fin de no generar valores erróneos en la interpolación.

También se excluyeron de la interpolación los pozos excavados identificados con el código 70 y 71(código de inventario de pozos excavados de la dirección hidrogeología del INETER), que se ubican en la parte alta de la cuenca, se localizan en la comunidad de El Panamas y Correviento respectivamente, estos datos se excluyeron de la interpolación debido a que estos pozos son independientes del acuífero El Sauce, son pequeñas formaciones de agua las cuales se forman a través de las fallas y fracturas en las rocas, facilitando la circulación del agua, a estas pequeñas formaciones se les llama comúnmente acuíferos colgados y probablemente se secarán en el verano, debido a que los espesores saturados de estas formaciones es delgado; y por ende tienen poca capacidad de almacenamiento, no están conectados a ningún medio hidrogeológico, por lo cual una vez que se consuma el agua

almacenada en estos se acabará la producción de agua estos pozos, esperando a que se recargue nuevamente estos medios acuíferos en el invierno.

La interpolación se generó por varios métodos para comparar resultados; los métodos usados fueron los siguientes: IDW (inverse Distance Weighted)), Kriging, Natural Neighbor, Spline; todos estos con la ayuda del software ArcGis 9.3. Estos datos obtenidos fueron únicamente comparativos con el resultado final, el cual fue generado con la herramienta de Geostatistical Analyst.

Se utilizó esta herramienta de interpolación debido a que utiliza mejores algoritmos de relación de datos y distribuye mejor los resultados en la superficie a interpolar. Se utilizó el método Ordinary Kriging; la escogencia de los datos se realizó analizando el valor de los cinco datos más próximos al valor a interpolar.

En la cuenca El Sauce, se presentaron cuatro diferentes rangos de profundidades de agua subterránea, los cuales se describen a continuación.

D1. Estas áreas se encuentran ubicadas en los límites del valle y las rocas terciarias, varían 0.2 a 5 metros de profundidad. Desde el punto de vista de profundidad, estas áreas son de menor atenuación por la poca profundidad de esta agua. Se le asigna una calificación de 9, con un peso de 5 obteniendo como resultado un VND de 45.

En estas zonas se encuentra la cabecera municipal El Sauce, y los poblados, La Teja Esmeralda, Esquipulas, Cofradía, Los Tololos N° 3, San Nicolás, La Santillana, Agua Fría, La Herradura, El Guacucal, El Tejar, El Sauce entre otros. Los cuales corren un riesgo potencial de que sus fuentes de agua potable se contaminen rápidamente por la somera profundidad de esta, además estas áreas presentan pendientes casi planas, por lo que el agua permanece más tiempo en la superficie del suelo, permitiendo mayores infiltraciones.

D2. Esta área es la que se encuentra en mayores dimensiones, cubriendo la mayor parte del valle, cuyos valores oscilan entre 5 a 10 metros de profundidad; se le asignó una calificación de 7, con un peso de 5 obteniendo como resultado un VND de 35.

La mayor parte de la red hídrica de la cuenca El Sauce transita por esta área, por lo cual es fácil el transporte de contaminante por esta vía. Se localizan los poblados de: Hato Nuevo, Hato Viejo, Santa Rita, Los Panales, Los Pavones, Comarca Los Panales N° 1, Los Limones, Quebrada Seca, El Calanchín, Santa Bárbara, La Palma, entre otros. Aunque estas aguas están un poco más profundas que el escenario anterior, siempre están expuestos al riesgo de contaminación, el terreno es ideal para la infiltración, debido a que las pendientes en esta área varían entre los rangos de 0 a 5 %.

D3. Esta se localiza en la parte norte del valle. En esta zona, el agua subterránea varia en los rangos de 10 a 15 metros de profundidad, se le asignó una calificación de 5, un peso de 5 obteniendo como resultado un VND de 25.

En esta zona se encuentra el caserío Colonia Eduardo Contreras y el poblado La Esperanza. Las profundidades presentes en esta área son mayores relativamente a las otras, sin embargo, la conductividad hidráulica y la transmisividad son mayores y por ende circulan mayores cantidades de agua a mayores velocidades, aumentando el riesgo de contaminación por esta vía. Las pendientes oscilan en los rangos de 0 a 5%, por lo cual esta área está expuesta al igual que las demás, pero en menor grado.

D4. En esta área la profundidad del agua se encuentra a mayor de 15 metros de profundidad con respecto al nivel del terreno, se le asignó una calificación de 3, con un peso de 5 obteniendo como resultado un VND de 15.

En este último escenario se encuentra el poblado de San Ramón, es ahí donde se encuentran las mayores profundidades de agua en la cuenca El Sauce, debido a la elevación (msnm), que posee esta área.

Se puede decir que en esta zona es la de menor riesgo de contaminación, porque hay menores conductividades hidráulicas, mayores pendientes y se encuentran materiales terciarios y cuaternarios combinados; pero son áreas poco productivas por la pobre capacidad de almacenamiento que tienen estos tipos de materiales, la dureza de estos hace difícil el trabajo de excavar a mano o perforar con máquinas.

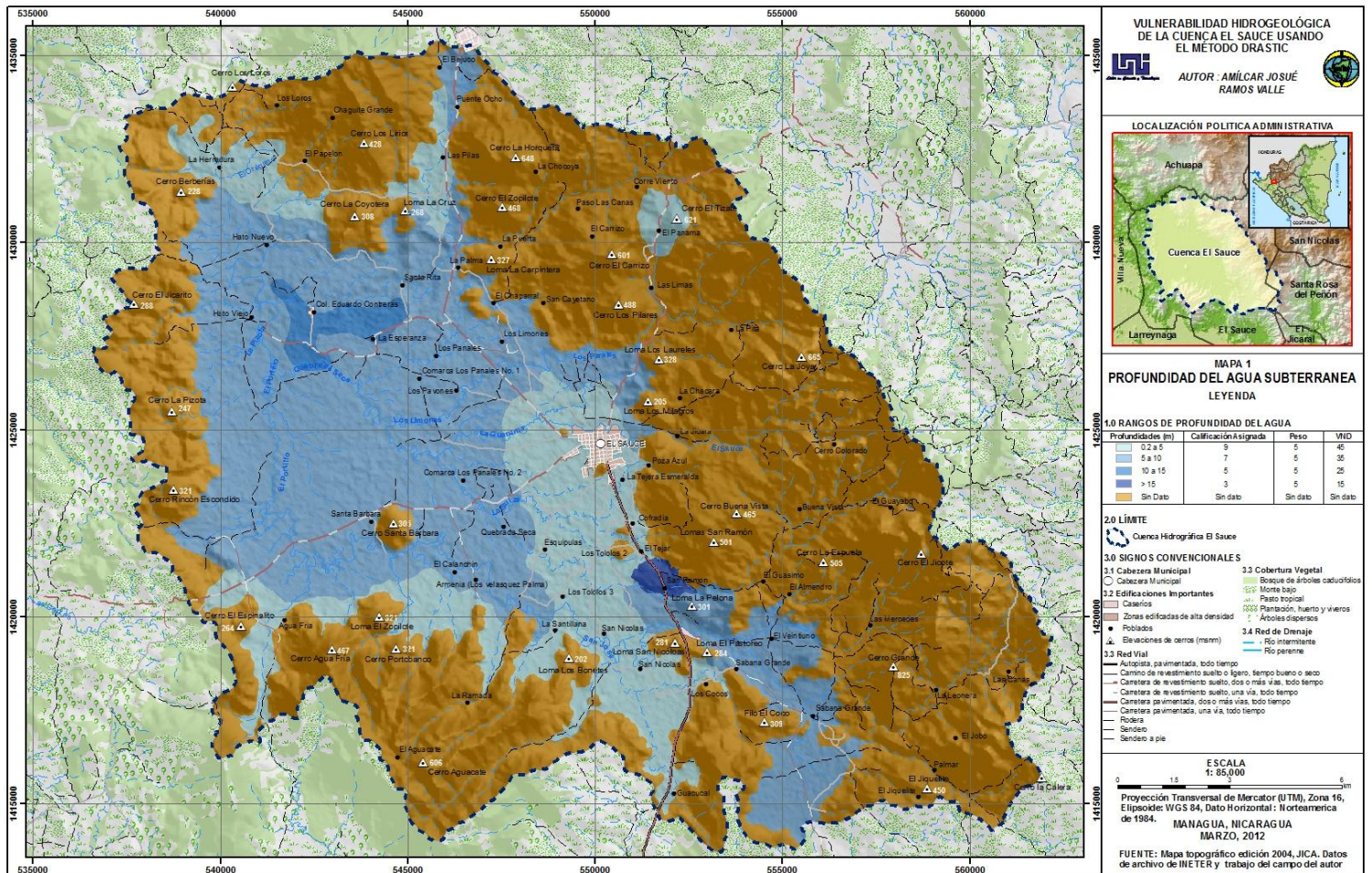


En el análisis de este parámetro se identificaron 4 rangos de profundidad, en el cuadro 11 se presentan las áreas descritas y el mapa 1 presenta la delimitación espacial de cada una de ellas.

**Cuadro 11 Resultados del Análisis de la Profundidad del Agua**

<b>CODIGO</b>	<b>ESCALA DE PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>CALIFICACION</b>	<b>PESO</b>	<b>VALOR NUMÉRICO DRASTIC</b>
D1	0.2 – 5	9	5	45
D2	5 – 10	7	5	35
D3	10 – 15	5	5	25
D4	> 15	3	5	15

## Mapa 1 Profundidad del Agua Subterránea



## 1.2 Recarga neta

La recarga principal de las aguas subterráneas es la que proviene de las lluvias, de estas una parte es retenida por la vegetación, parte escurre sobre la superficie del terreno y evapora, otra parte infiltra profundo y se almacena en un medio hidrogeológico llamado acuífero.

Las características de los materiales de la cuenca El Sauce, la cantidad de fallas y fracturas, permiten mayor infiltración de la precipitación, incrementando los valores de recarga en estas zonas, sobrepasando los 180 mm/anuales (esta es la zona de menor recarga) lo cual es mucho, debido que el área de la cuenca es relativamente pequeña.

A continuación se presentan las zonas de recarga por cada unidad geológica.

ZRD1: Franco Arcilloso.

Para la zona de recarga ZRD1, la recarga estimada es de 19.14% que corresponde a 311.96 mm de recarga.

Esta zona está en la parte sur este de la cuenca El Sauce, ubicándose los poblados de: Los Cocos, Guacuacal, Sabana Grande; también encontramos los cerros; Loma San Nicolás, Loma El pastoreo y Filo El Coco, siendo este la máxima altura en esta zona.

ZRD2: Franco Arcilloso, arcilloso y arcilla media

En la zona de ZRD2, los valores de recarga están entre 8.6 % y 13.98 %, lo que corresponde 139.28 mm a 227.44 mm de recarga, respectivamente.

Esta zona ZRD2 cubre la mayor parte del valle, compartida en minoría con la ZRD3. Se elaboraron 12 pruebas de infiltración, siete por el método de los cilindros infiltrómetros y cinco por el método de Porchet, distribuidas en toda esta zona.

En esta zona de recarga se encuentran la cabecera municipal, el caserío Colonia Eduardo Contreras y la mayoría de los poblados del municipio El Sauce, entre ellos; Esquipulas, Quebrada Seca, La Esperanza Hato Nuevo, Hato Viejo, La Palma, El Chaparral, La Puerta, Cofradía, entre otros.

#### ZRD3: Franco arcilloso

Para la zona de recarga ZRD3 la recarga es de 11.8% a 17.82%, que corresponden a 190.7 mm y a 209.56 mm de recarga, respectivamente.

Esta zona de recarga está ubicada al noroeste de la cuenca El Sauce, se realizaron tres pruebas de infiltración, dos por el método de los cilindros infiltrómetros y una por el método de Porchet, aquí se ubican tres poblados únicamente: Agua Fría, Comarca Los Panales N° 1 y Santa Bárbara.

La zona ZRD4 recarga 12.14 % equivalente a 196.88 mm de recarga.

Esta zona está ubicada al noreste y una pequeña parte al noroeste de la cuenca El Sauce, se ubican los poblados de Palmar, Las Canas, El Jobo, La Leonera, Buena Vista, El Guayabo, San Cayetano, Las Minas, Los Loros, El Papelon, entre otros. Esta zona es la que presenta mayores elevaciones de toda el área de estudio, encontrándose los siguientes cerros: Loma Los Laureles, Loma Los Milagros, Cerro Buena Vista, Cerro La Joya, Cerro Grande, El Jiquelite, Cerro La Horqueta, Cerro Zopilote, Cerro el Jicote. Se realizaron dos pruebas de infiltración por el método de Porchet en esta zona.

#### ZDR5: Arcilloso pesado y franco arcilloso

En la zona de recarga ZRD5 los valores varían de 0% a 21.5%, que significa de 0.00 a 350.45mm de recarga anual.

En esta zona de recarga se encuentran el poblado de La Ramada. Está compuesta en su mayoría por áreas de mayores elevaciones, encontrándose los cerros siguientes; Cerro Agua Fría, Cerro Portobanco, Loma Los Bonetes, Cerro La Pizota con, Cerro El Jicarito con una, Cerro Aguacate.

En las faldas de alguno de estos cerros se forman ríos intermitentes, los cuales son tributarios de los ríos perennes que se aprecian en la cartografía de los mapas de los diferentes parámetros. En esta zona ZRD5 se realizaron dos pruebas de infiltración por el método de Porchet.

Cabe mencionar que estas zonas de recarga fueron proporcionadas por la dirección de hidrogeología del INETER, estas áreas debidamente delimitadas se adecuaron a la metodología DRASTIC.

En el cuadro 12 se presenta la recarga media anual de la cuenca El Sauce, en el cuadro 13 se presentan los resultados del análisis de recarga, y en el mapa 2 se presentan la distribución areal de estas zonas.

**Cuadro 12 Recarga Media Anual de la Cuenca El Sauce**

<b>ZONA RECARGA</b>	<b>TEXTURA</b>	<b>AREA DE RECARGA (KM²)</b>	<b>RECARGA (RP) (MM)</b>	<b>RECARGA ANUAL (M³)</b>
ZRD1	Franco arcilloso	27.207	311.96	8,487,495.72
ZRD2	Franco arcilloso Arcilloso	107.873	183.36	19,779,593.28
ZRD3	Franco arcilloso Arcilloso	37.847	240.63	9,107,123.61
ZRD4	Franco arcilloso	137.348	196.88	27,041,074.24
ZRD5	Franco arcilloso Arcilloso	55.245	175.22	9,680,028.90
TOTAL				74,095,315.75

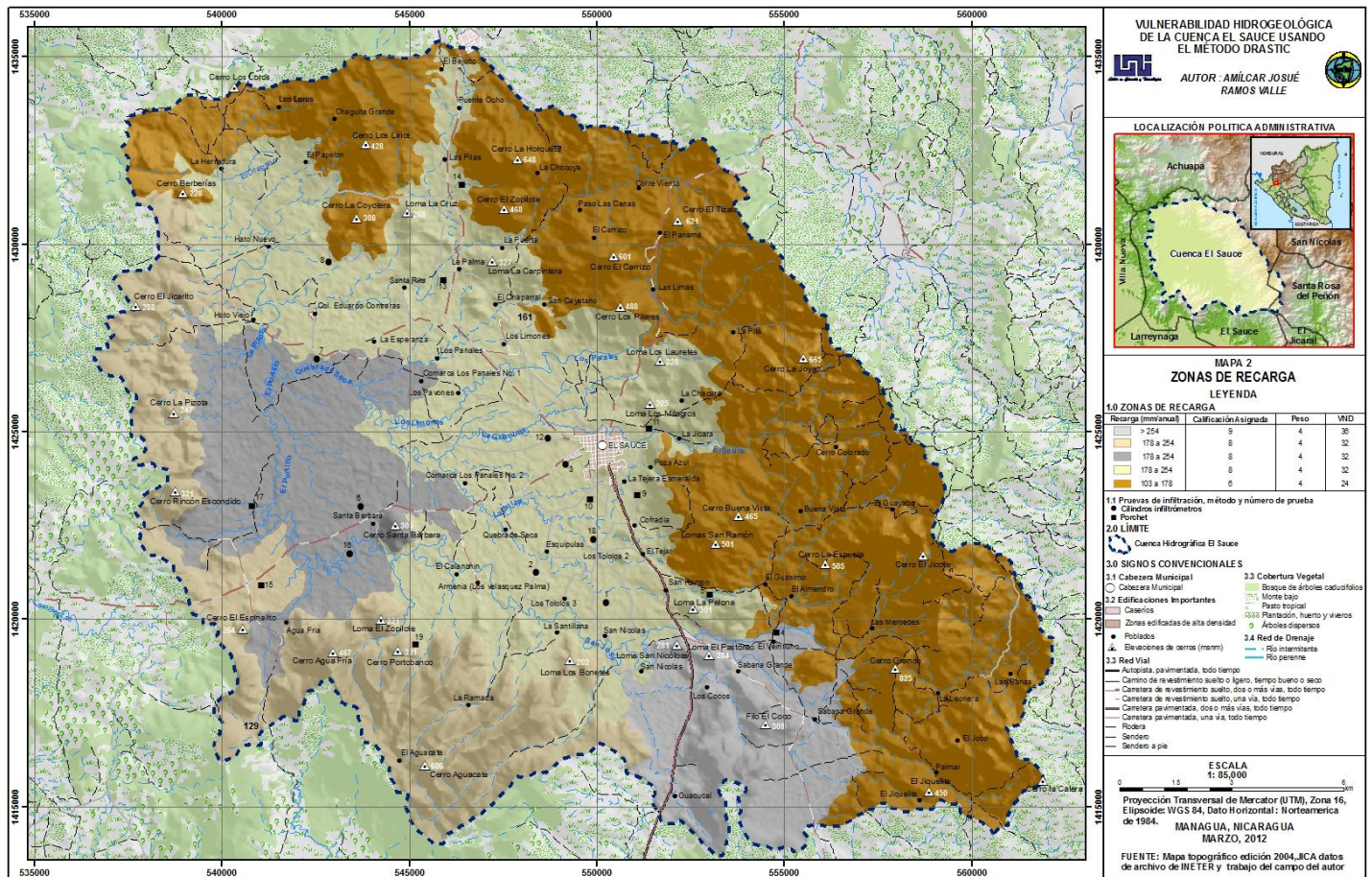
Fuente: INETER, 2008

**Cuadro 13 Resultados del Análisis de la Recarga Neta**

<b>ZONAS</b>	<b>ESCALA DE RECARGA</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>PESO</b>	<b>VALOR NUMÉRICO DRASTIC</b>
ZR1	> 254	9	4	36
ZR2	178-252	8	4	32
ZR3	178-252	8	4	32
ZR4	178-252	8	4	32
ZR5	103-178	6	4	24



Mapa 2 Zonas de Recarga



### **4.1.3 Medio del acuífero**

Su importancia radica por el grado de influencia en la atenuación de un contaminante a través de los procesos de la absorción, dispersión y dilución. Dicha influencia se mide por el recorrido de la pluma de contaminación, el cual es determinado por el sistema de flujo o por el nivel de interconexión entre poros o fracturas del medio saturado.

En la cuenca El Sauce se identificaron las siguientes áreas:

A1. Esta zona está compuesta por arcilla, limo, arena y bolones, dentro de esta área se encuentran afloramientos rocosos de material terciario, lo cual es parte del material que rodea el valle.

Esta área fue producto de la meteorización de las rocas en la parte superior de la cuenca, por lo cual es un relleno natural de estos materiales.

Esta área cubre todo el valle, donde están ubicados la mayoría de los poblados, caseríos y la cabecera Municipio de El Sauce. Estos tipos de materiales presentes en esta área, son muy permeables, por lo que facilita la circulación de cualquier contaminante.

En las zonas de mayor elevación (material terciario) aunque son zonas muy fracturadas, no tienen la capacidad para que el agua penetre por ellos, su almacenamiento es muy pobre, son rocas duras impermeables casi imposibles de penetrar.

En fin estos materiales no poseen características en su medio para formar algún acuífero, es por esto que en la tabla de resultados de este parámetro únicamente se describe el área presente en el valle.

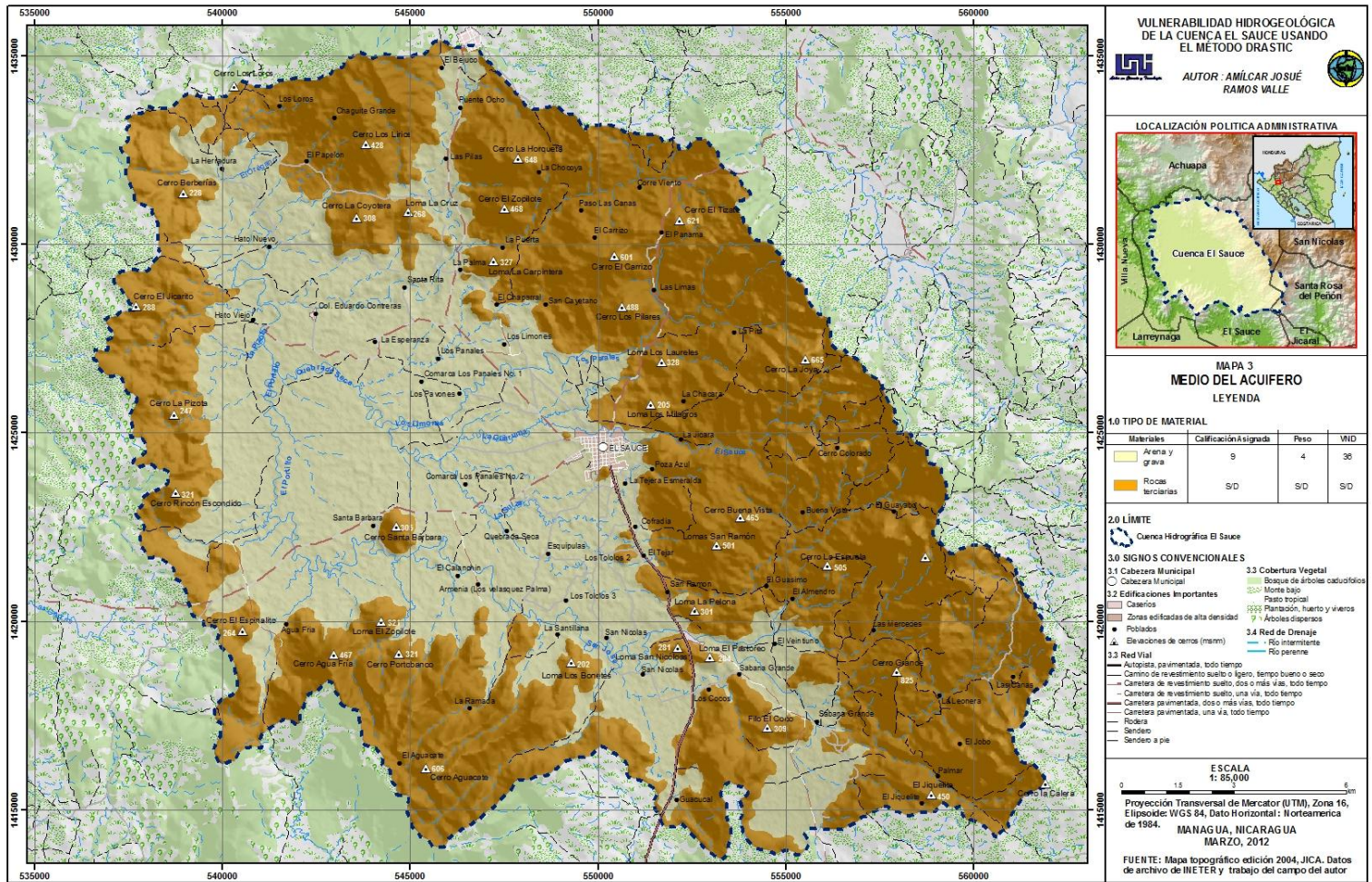
En el cuadro 14 y mapa 3, se presentan el resumen del resultado para este parámetro.



**Cuadro 14 Resultados del Análisis del Medio del Acuífero**

<b>CÓDIGO</b>	<b>COMPARACIÓN DE ESCALAS LITOLÓGICAS</b>		<b>CALIFICACION</b>	<b>PESO</b>	<b>VALOR NUMÉRICO DRASTIC</b>
	<b>Según DRASTIC</b>	<b>Área de Estudio</b>			
A1	Arena y Grava	Arena y Grava	8	3	24

Mapa 3 Medio del Acuífero



#### 4.1.4 Suelo

El suelo lo conforma la parte superior de la zona vadosa, la característica más importante del suelo está definida por su textura. La existencia de suelo con textura fina, como en los suelos residuales, reduce la permeabilidad relativa, lo cual también limita la migración de los contaminantes. Por el contrario suelos, de textura gruesa como en los suelos transportados coluviales y/o aluviales, son más susceptibles a la filtración y absorción de los contaminantes, por tener mayores permeabilidades.

Se realizó un análisis comparativo entre las características de los suelos propuestos por el método DRASTIC, y las condiciones específicas del área de estudio a fin de hacer una calificación más adaptada a los suelos del área, obteniéndose cuatro áreas que se describen a continuación.

S1. Cubre una pequeña parte al NE del valle, estos suelos son arenosos con altas permeabilidades, con espesores que varían entre 60 a 90 cm de profundidad. En esta zona se realizaron dos pruebas de infiltración por el método de los cilindros (infiltrómetros), las cuales fueron fundamentales para la delimitación de las fronteras de esta área. Esta zona es sensible a la contaminación por la cualidad propia del medio, aumentando aún más el riesgo de contaminación ya que en este escenario hidrogeológico cubre una parte del casco urbano del municipio El Sauce. Se asignó una calificación de 7 y un peso de 2 obteniendo como resultado un VND de 14.

S2. Zonas puntuales, son suelos Francos arcillosos con gravas con una permeabilidad considerablemente alta, con áreas muy pequeñas localizadas contiguo a las rocas terciarias, los cuales son producto de rellenos de ellas mismas, con espesores que varían entre 40 y 90 cm de profundidad. Se identificaron dos áreas en el valle que presentan esta misma condición, una ubicada en las faldas del Cerro Portobanco. Esta área está ubicada en la frontera entre el material cuaternario y el terciario. En esta zona se realizó una prueba de infiltración por el método de Porchet. La otra se ubica en la parte sureste de la cuenca, aproximadamente a un km hacia el noroeste del Poblado Los Tololos N° 2, realizándose una

prueba de infiltración por el método de los cilindros infiltrómetros. Se les asignó una calificación de 6 y un peso de 2 obteniendo como resultado un VND de 12.

S3. Cubre la mayor parte del valle, siendo suelos Franco arcillosos, con espesores que varían entre 60 y 90 cm de profundidad. En esta zona se realizaron 9 pruebas de infiltración, cinco por el método de los cilindros infiltrómetros y cuatro por el método de Porchet. Se le asignó una calificación de 6 y un peso de 2 obteniendo como resultado un VND de 12

S4. Suelos vertisoles arcillosos pesados; se ubican en la parte noroeste del valle con espesores que varían entre 60 a 90 cm de profundidad. Se realizaron tres pruebas de infiltración en esta área, dos por el método de Porchet y una por el método de los cilindros infiltrómetros. Esta textura presenta mayores propiedades de atenuación a alguna carga contaminante, debido a las propiedades de cohesión que poseen estos tipos de suelos, sin embargo también se agrietan excesivamente al perder contacto con el agua, por el ejemplo el verano, facilitando así la infiltración de cualquier contaminante. Se le asignó una calificación de 5 y un peso de 2 obteniendo como resultado un VND de 10.

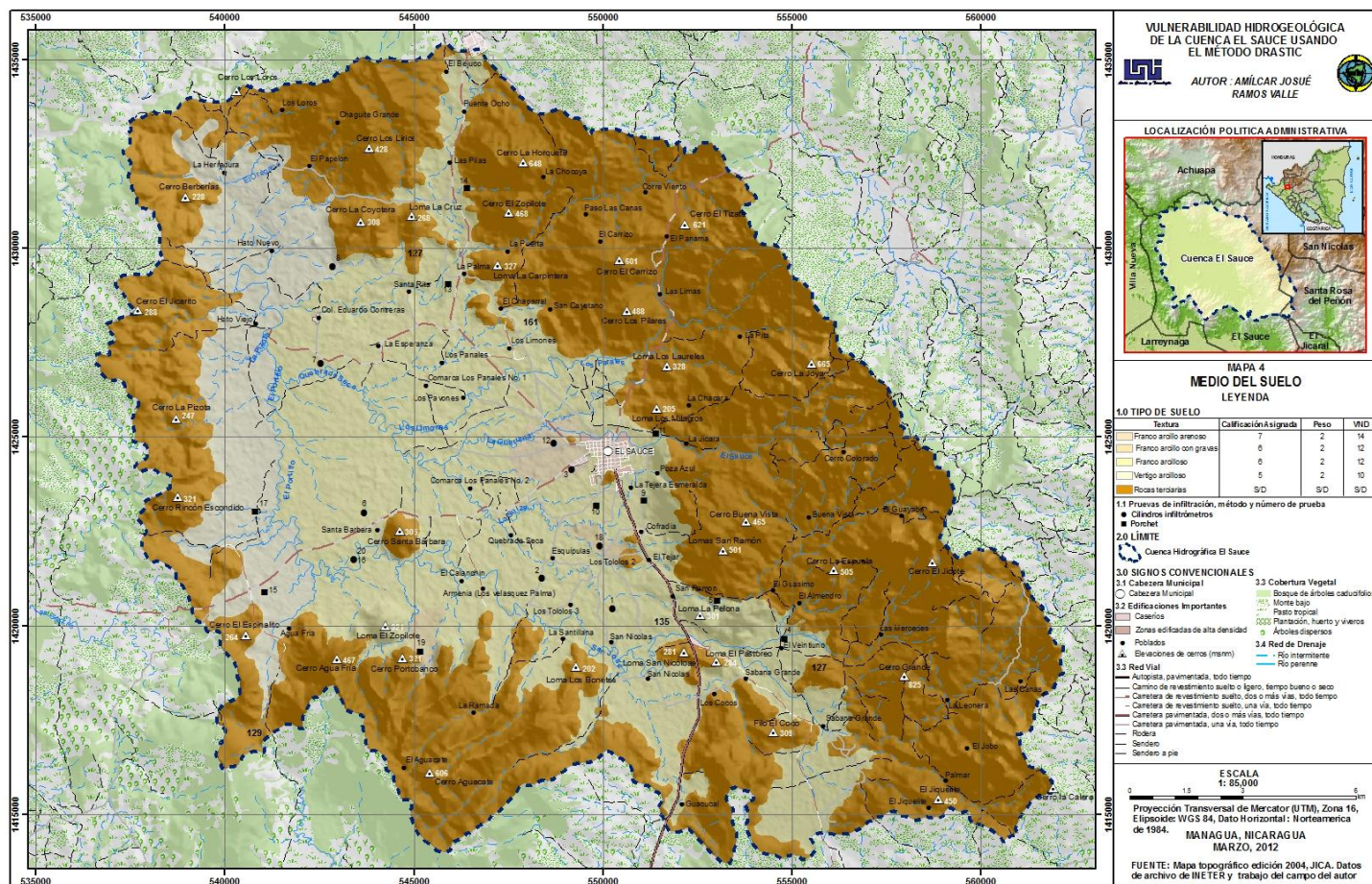
En el cuadro 15 y el mapa 4 se presentan las áreas descritas.

**Cuadro 15 Resultados del análisis medio del suelo**

<b>AREAS</b>	<b>MATERIALES EN AREA DE ESTUDIO</b>	<b>ESPESOR (CM)</b>	<b>CALIFICACION</b>	<b>PESO</b>	<b>VALOR NUMÉRICO DRASTIC</b>
S1	Franco arcillo arenoso	60 a 90	7	2	14
S2	Franco arcilloso con gravas	40 a 90	7	2	14
S3	Franco arcilloso	60 a 90	6	2	12
S4	Vertisol arcilloso	60 a 90	5	2	10



## Mapa 4 Medio del suelo



#### 4.1.5 Topografía

El análisis de la topografía se realizó con el propósito de establecer los rangos de pendientes del área y asignar valores de acuerdo a las escalas DRASTIC. Los valores más altos corresponden a las zonas más planas y los valores más bajos a las zonas con mayor inclinación. Este criterio se apoya de acuerdo en que en áreas planas el agua permanece más tiempo en la superficie del suelo y por lo tanto tiene mayor posibilidad de infiltrarse con contaminantes incorporados.

En el análisis de este parámetro se obtuvieron 3 rangos de pendientes, los cuales se describen en el cuadro 16 y en el mapa 5 se observa la ubicación espacial de estos.

T1. Este rango de pendientes oscilan entre 0 y 5 %, es la de mayor presencia en el valle, es una área consolidada cubriendo aproximadamente 90 % de éste, el casco urbano del municipio El Sauce y otras edificaciones de importancia se ubican en esta área.

Estas pendientes favorecen la infiltración, debido a la permanencia de agua en el área, causada por la casi horizontalidad del terreno. Se le asignó una calificación de 9, multiplicado por el peso del parámetro que es 1 y se obtuvo un VND de 9 para esta área.

T2. Se identificaron 4 áreas con estos mismos rangos de pendientes, la que tiene mayor dimensión se ubica en la parte noroeste y la parte sur de la cuenca El Sauce, siendo esta área frontera con las rocas terciarias, las otras tres son de menores dimensiones, se encuentran en las fronteras entre los materiales terciarios y cuaternarios. Se le asignó una calificación de 6 multiplicado por 1 que es el peso del parámetro obteniéndole un VND de 6.

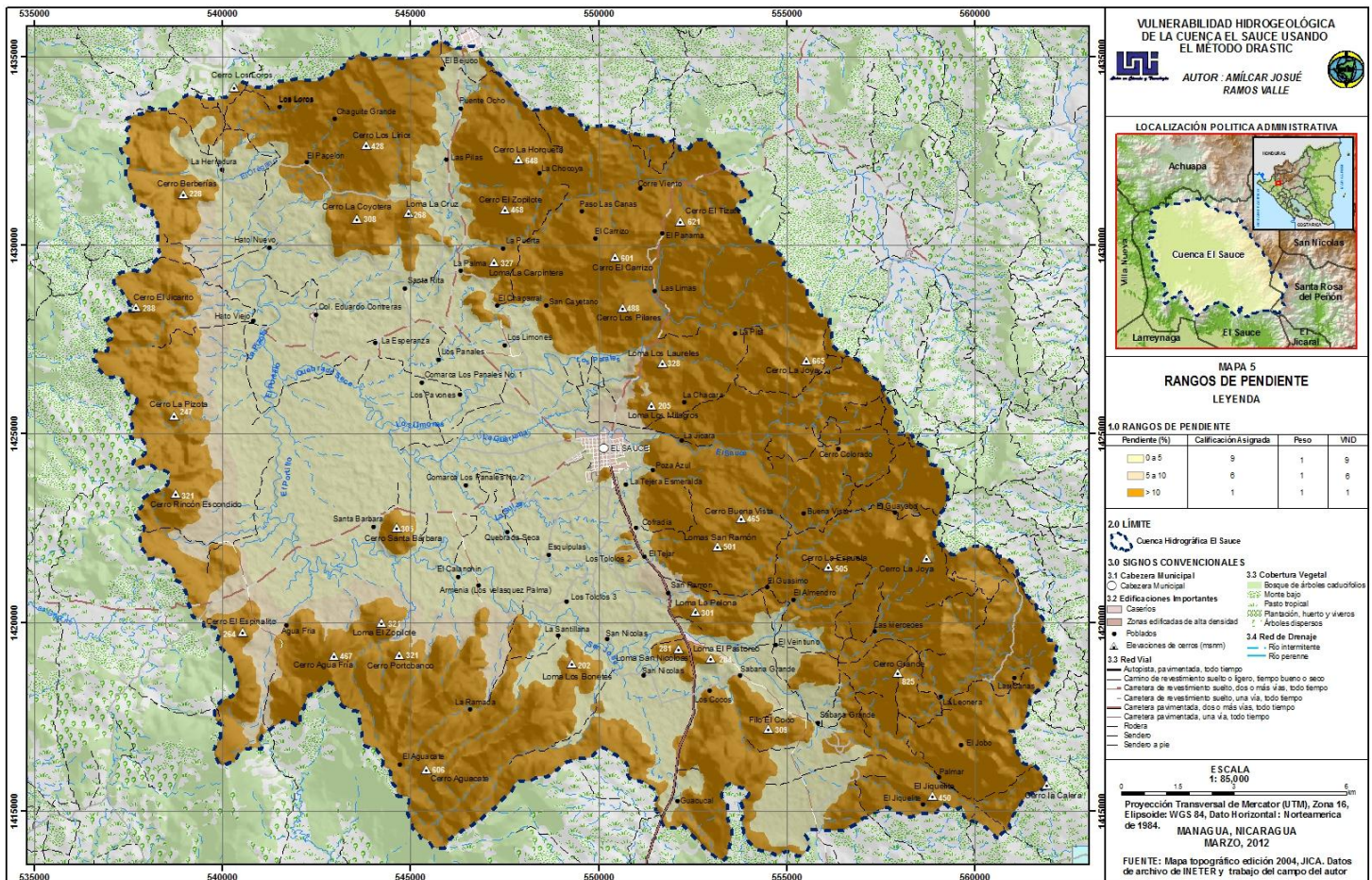
T3. Estas áreas con pendientes mayores a 10%, son rocas terciarias, que rodean todo el valle, también se encuentran afloramientos de ellas dentro de éste. Estas pendientes por su alto grado de inclinación no favorecen a la retención de agua en la superficie, además estos materiales son impermeables. Se le asignó una calificación de 1 con un peso de 1, dando como resultado VND 1.

**Cuadro 16 Resultados de la Topografía del terreno**

<b>CÓDIGO</b>	<b>ESCALA (%)</b>	<b>CALIFICACION</b>	<b>PESO</b>	<b>VALOR NUMÉRICO DRASTIC</b>
T1	0 – 5	9	1	9
T2	5 - 10	6	1	6
T3	> 10	1	1	1



Mapa 5 Rangos de Pendiente





#### **4.1.6 Zona vadosa ó zona no saturada**

La importancia de la zona vadosa en la estimación de la vulnerabilidad natural del acuífero dependen de las características del espesor, composición litológica, propiedades químicas de las rocas las que determinan las condiciones de atenuación del material que se encuentra por debajo del horizonte del suelo y por encima de la capa freática. La biodegradación, neutralización, filtración mecánica, reacción química, volatilización y la dispersión son fenómenos que pueden ocurrir y contribuyen al proceso de atenuación dentro de la zona vadosa. Del análisis de este parámetro se obtuvo como resultado 3 zonas representadas, las cuales se presentan a continuación.

I1- Se caracteriza por sedimentos cuaternarios indiferenciados y residuales constituidos por arenas y gravas; se localiza en las fronteras del valle y las rocas terciarias. Estos materiales se consideran con alta permeabilidad, lo que facilita a alguna carga contaminante penetrar sin que estos materiales opongan mucha resistencia, debido a sus propiedades. Se le asignó una calificación de 8 y un peso de 5, obteniendo como resultado un VND de 40.

I2- Se caracteriza por sedimentos cuaternarios indiferenciados y residuales en su mayoría constituido por arcillas y arcillas pesadas. Se localiza en la parte céntrica del acuífero. En esta área se encuentra la zona edificada, Colonia Eduardo Contreras y los poblados de; Hato Nuevo, Hato Viejo, La Esperanza, Los Panales, Comarca los panales 1, Los Pavones y Comarca Los Panales N° 2. Se le asignó una calificación de 4 y un peso de 5, obteniendo un VND de 20.

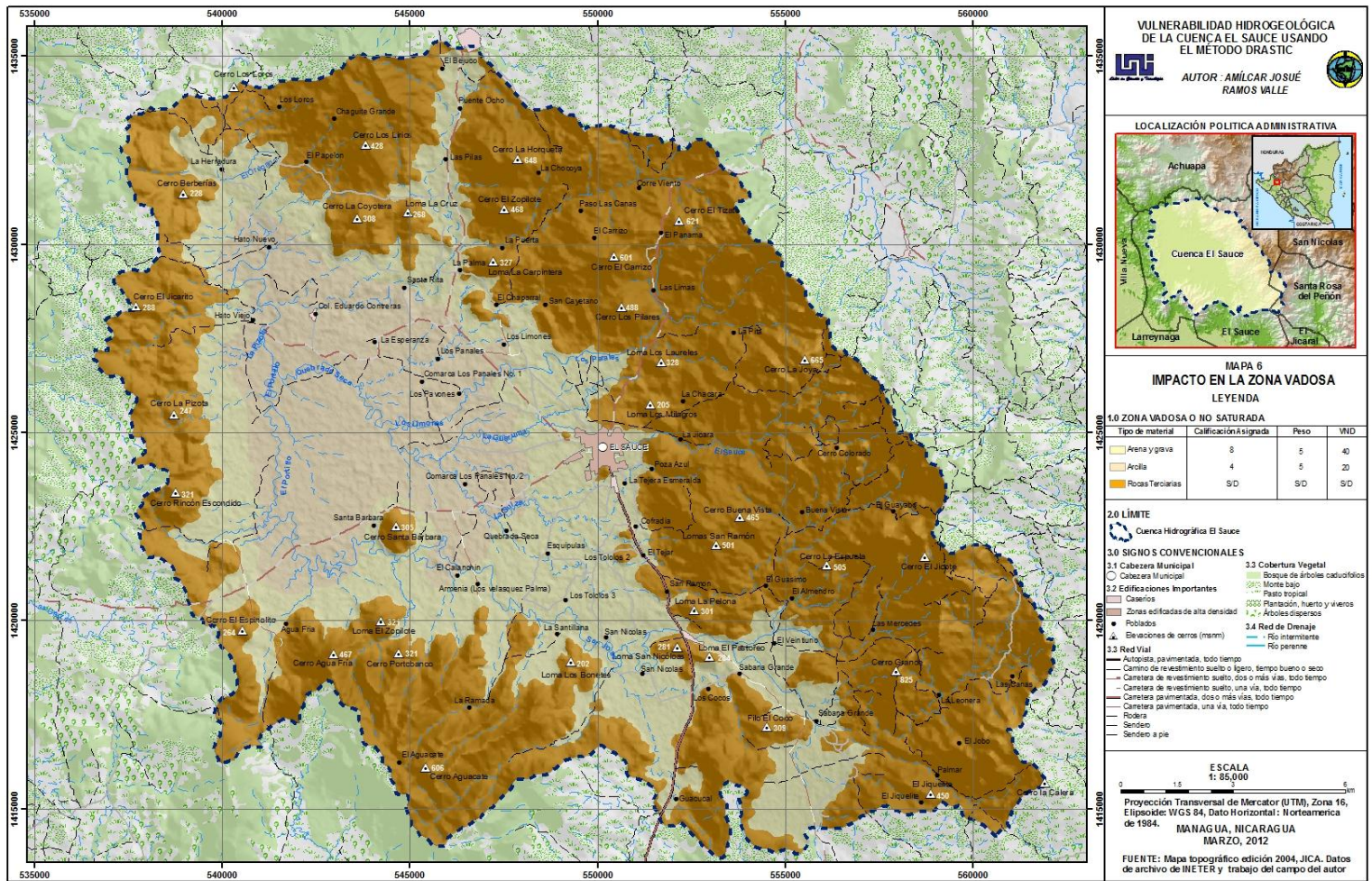
I3- Se caracteriza por rocas terciarias impermeables, fracturadas. Están localizadas en la parte alta de la cuenca, también se encuentran afloramientos de estas rocas dentro del valle. Se asignó una calificación de 5 y un peso de 5, obteniendo como resultado un VND de 25.

El procedimiento utilizado para la caracterización de esta zona es similar al del parámetro del medio del acuífero. En el cuadro 17 se presenta el consolidado de los resultados para este parámetro, y en el mapa 6 se observa la distribución espacial de estas áreas descritas.

**Cuadro 17. Resultados del Impacto en la Zona Vadosa o Zona no Saturada**

<b>ZONA</b>	<b>COMPARACION DE ESCALAS LITOLÓGICAS</b>		<b>CALIFICACION</b>	<b>PESO</b>	<b>VALOR NUMÉRICO DRASTIC</b>
	<b>SEGÚN DRASTIC</b>	<b>AREA DE ESTUDIO</b>			
I1	Arena y Grava	Arena y Grava	8	5	40
I2	Sedimentos arcillosos	Arcillas	4	5	20
I3	Metamórfica/Ignea	Rocas Terciarias	5	5	25

### Mapa 6 Impacto en la Zona Vadosa



#### **4.1.7 Conductividad hidráulica**

La conductividad hidráulica se refiere a la forma y/o modo en que el agua atraviesa las capas y materiales del acuífero, lo que a su vez controla la velocidad a la que esta fluye considerando una pendiente dada.

De esta manera la velocidad a la que fluye el agua subterránea también controla la velocidad del movimiento de un contaminante una vez que alcanza el manto acuífero.

Como resultado del análisis de este parámetro se obtuvieron tres áreas con diferentes rangos de conductividad hidráulica, dos dentro del valle y uno para las rocas terciarias.

C1. Esta área está ubicada al centro del valle, es ahí donde se encuentran las mayores profundidades de basamento hidrogeológico las cuales varían de (80 a 120 msnm), y por la relación descrita anteriormente es ahí donde se encuentran las mayores conductividades. Se ubican los poblados de La Esperanza, Comarca Los Panales N° 1, Comarca Los Paneles N° 2 y la Colonia Eduardo Contreras, los rangos de conductividad hidráulica en esta área varían de 12.22 a 28.55 m/d, la calificación asignada fue la más alta dada en este estudio siendo de 3, por un peso de 3, se obtuvo un valor numérico DRASTIC de 9.

C2. Esta área cubre el resto del valle, los valores de basamento hidrogeológico se encuentran a profundidades mayores de 120 msnm, lo que quiere decir que los espesores saturados en esta área son menores que en el área descrita anteriormente. El casco urbano del municipio El sauce se encuentra en esta área, así también la mayor parte de los poblados exceptuando los mencionados en C2. La conductividad hidráulica en esta área oscila entre 4.08 a 12.22 m/d, se le asignó una calificación de 2, y se obtuvo VND de 6.

C3. estas áreas cubre las rocas terciarias que rodean el valle, y los afloramientos que se encuentran dentro de éste. Con rangos entre 0.04 a 4.08 m/d. Se le asignó una calificación de 1 y se obtuvo un VND de 3.

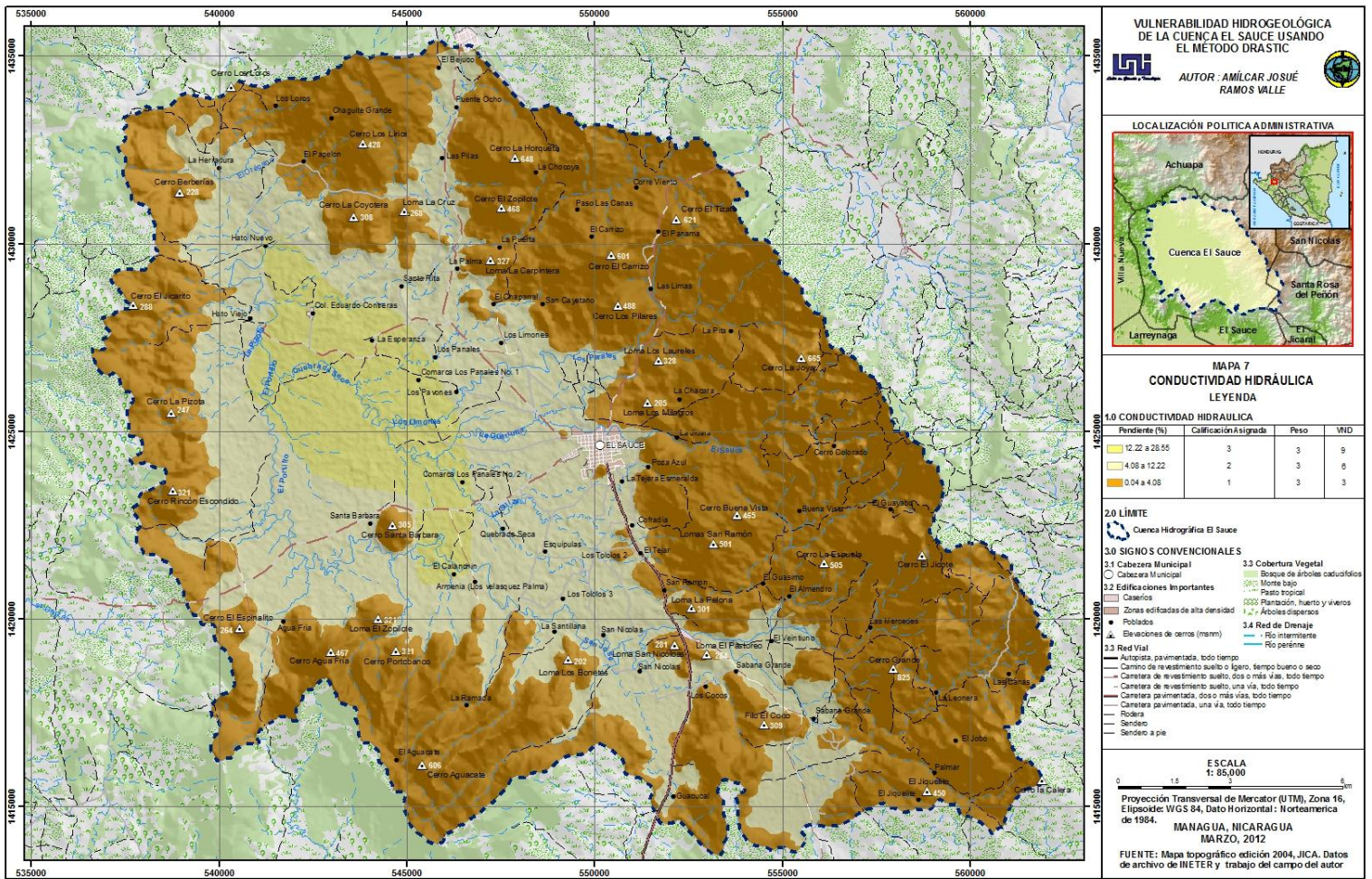
En el análisis de este parámetro se identificaron 3 rangos de conductividad hidráulica. En el cuadro 18 se presentan los resultados obtenidos para este parámetro, y en el mapa 7 se presentan las áreas descritas.

**Cuadro 18 Resultados de la Conductividad Hidráulica.**

<b>CÓDIGO</b>	<b>ESCALA (M/DÍA)</b>	<b>CALIFICACION</b>	<b>PESO</b>	<b>VALOR NUMÉRICO DRASTIC</b>
C1	12.22 – 28.55	3	3	9
C2	4.08 - 12.22	2	3	6
C3	0.04 – 4.08	1	3	3



## Mapa 7 Conductividad hidráulica



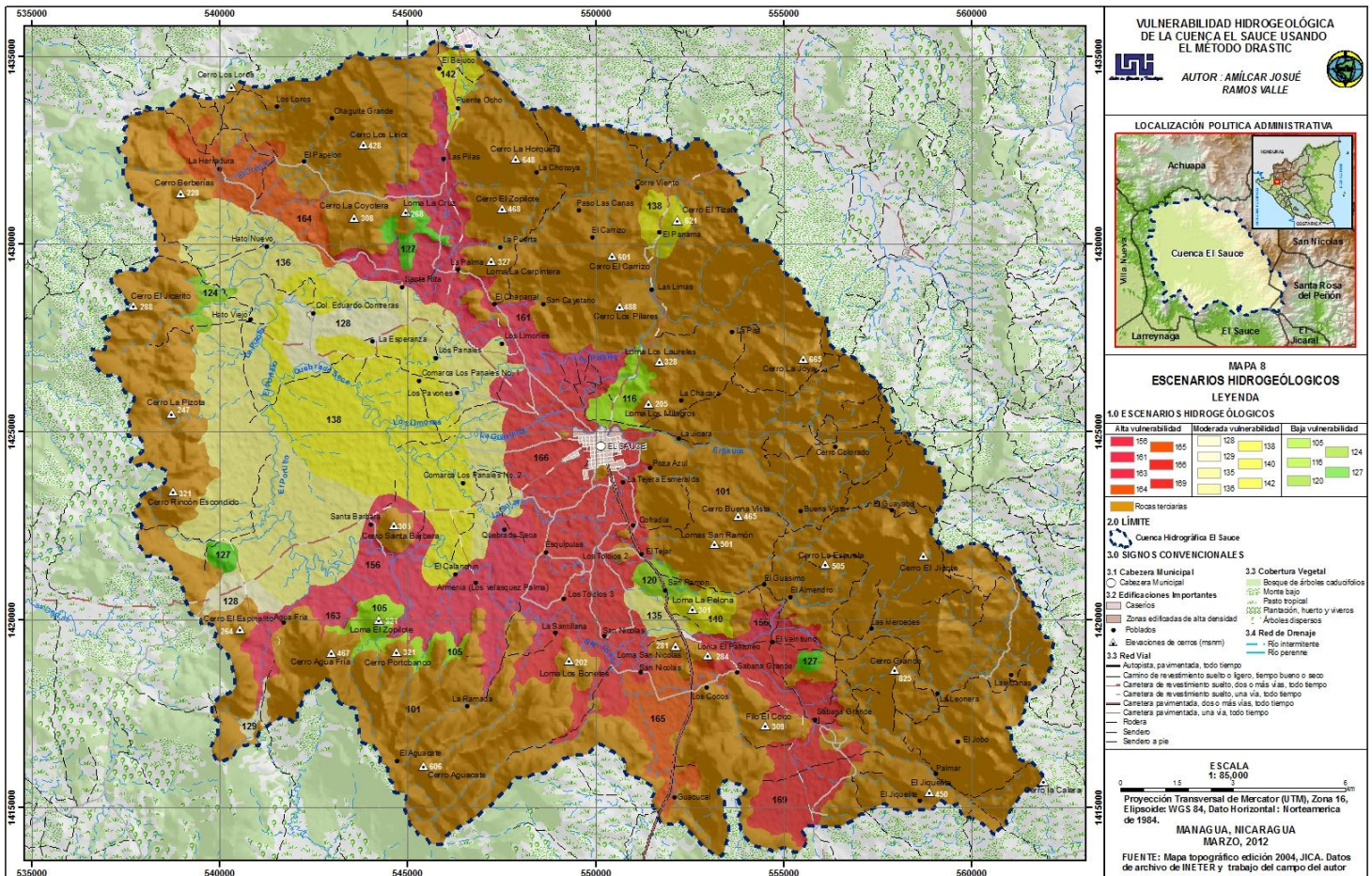
## **4.2 Escenarios Hidrogeológicos**

Como resultado de la sobreposición de las siete capas temáticas, se obtuvieron 33 escenarios hidrogeológicos con diferentes índices DRASTIC de vulnerabilidad. Los escenarios hidrogeológicos con valores similares o aproximados se agruparon, obteniéndose 19 escenarios con áreas de influencia más amplia.

En los casos de escenarios con valores iguales o próximos se tomó el más representativo de manera que no se altere la calificación de vulnerabilidad de estos. Los índices promedios de los escenarios agrupados obtenidos son los siguientes: 169, 166, 165, 164, 163, 161, 156, 142, 140, 138, 136, 135, 129, 128, 127, 124, 120, 116, 105. El mapa 8 presenta estos escenarios debidamente delimitados y en el anexo A (cuadros) se describe uno de estos.



## Mapa 8 Escenarios Hidrogeológicos





### 4.3 Vulnerabilidad Hidrogeológica de la cuenca El Sauce

Con los 19 escenarios obtenidos se hizo una agrupación de estos, para determinar los niveles de vulnerabilidad. En el cuadro 19 se muestra los rangos de vulnerabilidad establecidos de acuerdo a criterios obtenidos y establecidos por el método DRASTIC.

**Cuadro 19 Rangos de Vulnerabilidad**

APRECIACIÓN CUALITATIVA	INDICE	COLOR
Área de alta vulnerabilidad	169 - 156	Rojo
Área se moderada vulnerabilidad	142 - 128	Amarillo
Área de baja vulnerabilidad	< 127	Verde

En la tabla fueron asociados los 19 escenarios en tres grandes niveles de vulnerabilidad. Los cuales son los siguientes área de Alta vulnerabilidad, para índices de 169 a 156, área de moderada vulnerabilidad, para índices entre 142 a 128, y un área de Baja vulnerabilidad para índices menores de 127, que en resumen, son los niveles que definieron el mapa final de vulnerabilidad hidrogeológica.

#### 4.3.1 Descripción del área de “Alta Vulnerabilidad”

El área de “**ALTA VULNERABILIDAD**” quedó constituida por siete escenarios hidrogeológicos que se caracterizan por las zonas donde los perfiles naturales del suelo están compuestos por materiales porosos, permeables, poca profundidad del agua y con fracturas considerables. Este conjunto de condiciones es favorable al paso de cualquier clase de contaminantes depositados sobre o debajo de la superficie del suelo.

Los siete escenarios que constituyen esta área de alta vulnerabilidad tienen como índices DRASTIC (ID) los valores correspondientes de 169, 166, 165, 164, 163, 161y 156. Estos índices coinciden con las condiciones geológicas que se observan en el área como favorable al transporte de contaminantes. Estas condiciones determinaron el grado de alta vulnerabilidad especialmente por la presencia de grava, arena, bolones, sedimentos y arcilla.

En lo referente a la profundidad del agua, se identificaron profundidades que oscilan entre 0.2 a 5.0 m. Estas someras profundidades nos indican que al depositarse un contaminante sobre el suelo o subsuelo este puede llegar al agua subterránea en un corto plazo.

Con relación a la topografía, estos escenarios son favorecidos por la baja pendiente, permitiendo así una alta infiltración del agua. Esta pendiente oscilan entre 0 a 5%, esto permite que el agua precipitada permanezca mayor tiempo en la superficie del suelo, los coeficientes de infiltración de las unidades geológica son relativamente favorables, jugando un papel muy importante en la percolación del agua.

El conjunto de estas características proporcionan criterios para clasificar el área como ALTA VULNERABILIDAD HIDROGEOLOGICA de la cuenca El Sauce.

Los resultados de la evaluación de los parámetros en los seis escenarios hidrogeológicos del área de alta vulnerabilidad se describen en los cuadros 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 (anexo A) y sus límites se observan en el mapa 9 de vulnerabilidad hidrogeológica de la cuenca El Sauce.

#### **4.3.2 Área de “Moderada Vulnerabilidad”**

El área de “**MODERADA VULNERABILIDAD**”, está constituida por 8 escenarios hidrogeológicos.

El suelo presenta espesores que varían de 60 a 90 cm y 40 a 90 cm de profundidad, el material presente en estos suelos está compuesto por vertisoles arcillosos y franco arcilloso respectivamente, los cuales presentan una moderada permeabilidad, por las propiedades de la arcilla; permitiendo el paso a contaminantes móviles y persistente en un mediano plazo, con relación al área de alta vulnerabilidad.

En esta área existen dos áreas con considerables variaciones de pendientes. En la parte noroeste se encuentran rangos de pendientes que varían de 5 a 10%, las cuales se encuentran entre en los límites del material cuaternario y terciario, la otra se ubica en la zona céntrica del valle, donde las pendientes varían entre 0 y 5%. Esto significa que el tiempo de

permanencia del agua en la superficie es relativamente alto, lo que podría influir en la incorporación y transporte de contaminantes.

Con relación a la zona vadosa, en el área de moderada vulnerabilidad se presentan dos áreas, una compuesta por sedimentos arcillosos, lo que podría complicar que una carga contaminante tenga acceso a la zona saturada y la otra área está compuesta por arena y grava; este tipo de material presente, facilita el paso de contaminante hacia el acuífero.

En el área de moderada vulnerabilidad, los parámetros que marcan la diferencia de los escenarios hidrogeológicos son: Impacto en la Zona Vadosa, Medio del Suelo, y profundidad del agua subterránea. Sin embargo, al realizar la interrelación de todos los parámetros, sus índices se encuentran dentro del rango definido como de moderada vulnerabilidad.

Estas características comparadas con las de alta vulnerabilidad, permiten formarse un criterio de vulnerabilidad intermedia que corresponde con la agrupación de valores con índices DRASTIC (ID) para calificarla como área de **“MODERADA VULNERABILIDAD”** ante la presencia de una carga contaminante.

Los resultados de la evaluación de los parámetros para los ocho escenarios del área de moderada vulnerabilidad se describen en los cuadros 29, 30, 31, 32,33, 34, 35 (anexo B) y sus límites se observan en el mapa 9 de vulnerabilidad hidrogeológica de la cuenca El Sauce.

#### **4.3.3 Área de “Baja Vulnerabilidad”**

Esta área quedo caracterizada por valores de índices DRASTIC, de 127, 124, 120, 116 y 105. Estos escenarios hidrogeológicos son muy pequeños y puntuales localizados prácticamente en el material terciario, en los límites finales del valle.

Las profundidades de las aguas subterráneas son mayores en cuanto a las otras zonas de vulnerabilidad, el material litológico presente posee mayores elementos de atenuación a alguna carga contaminante, baja conductividad hidráulica y las altas pendientes topográficas, contribuyen positivamente en la atenuación de la posible carga contaminante y constituyen razones para calificarla como **“AREA DE BAJA VULNERABILIDAD”**.

Se estimó que esta área de baja vulnerabilidad es solo sensible a contaminantes móviles y persistentes depositados sobre la superficie de éstas y en tiempos relativamente largos con respecto a las otras áreas. Los cuadros 36, 37, 38,39, 40 (anexo B) describen los resultados obtenidos para los parámetros de esta área y en el mapa de vulnerabilidad hidrogeología de la cuenca El Sauce se muestra los límites que la delimitan, mapa 9.

#### 4.3.4 Mapa de vulnerabilidad

En el mapa de vulnerabilidad se reflejan áreas con diferentes niveles de sensibilidad relativa a la contaminación en la cuenca El Sauce.

Para facilitar su interpretación, se utilizó un sistema de coloración. El área de **ALTA VULNERABILIDAD** está presentada por un color rojo, el área de **MODERADA VULNERABILIDAD** por el color amarillo y el área de **BAJA VULNERABILIDAD** por el color verde.

Este mapa se anexa a este documento a la escala 1:85,000 y este será impreso en una hoja tamaño tabloide (43.18 cm de ancho y 27.94 cm de altura).

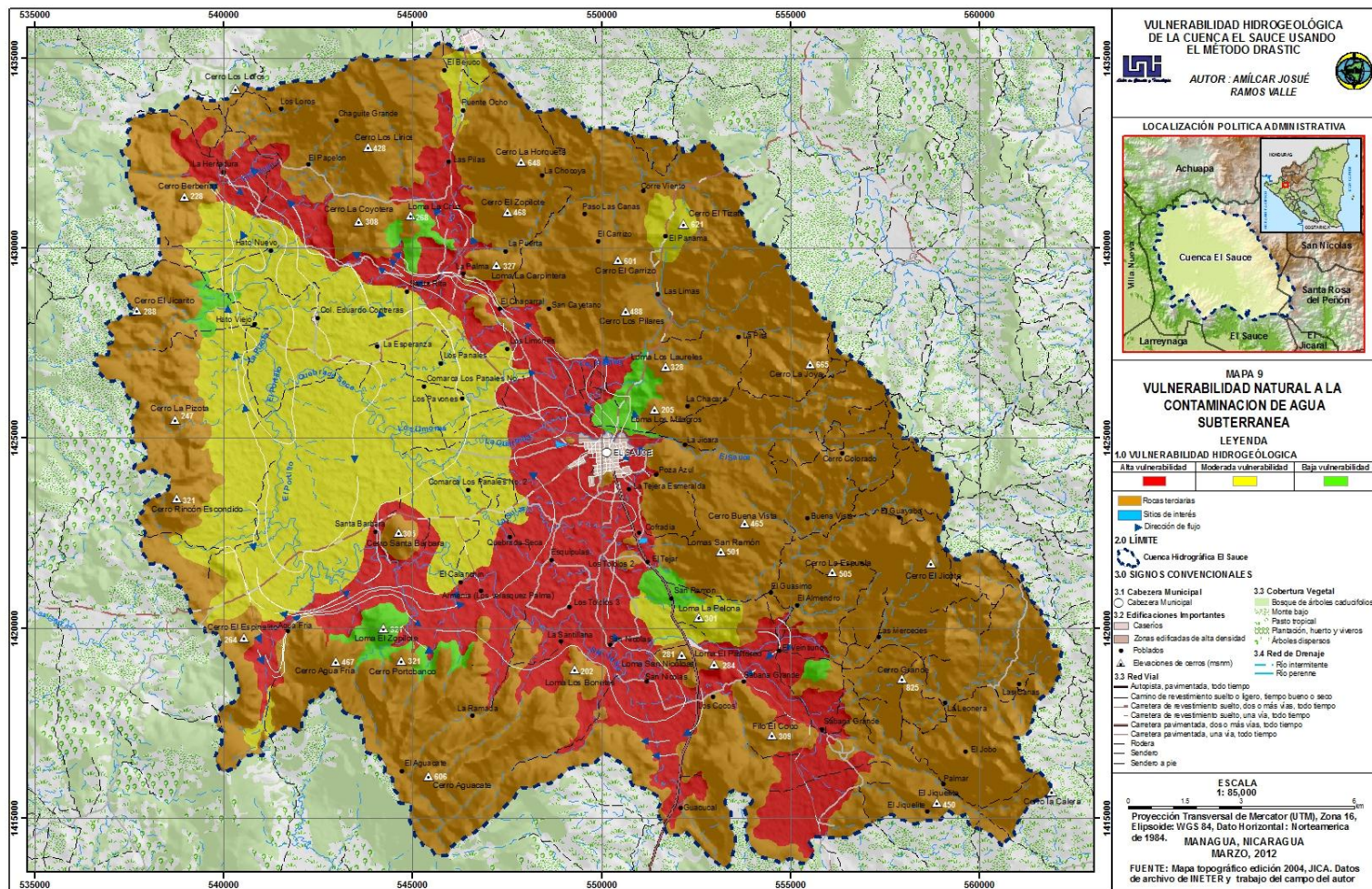
#### 4.3.5 Usos del mapa de Vulnerabilidad

El mapa de Vulnerabilidad Hidrogeológica es un instrumento auxiliar para orientar adecuadamente las decisiones relacionadas con la protección de las aguas subterráneas de la cuenca analizada. La vulnerabilidad no es el único criterio para la toma de decisión, pero es un parámetro importante en la administración adecuada de este recurso. Este conocimiento asociado con el peligro potencial de las fuentes de contaminación, puede permitir establecer estrategias de protección más adecuada acorde a la realidad. Sin embargo es muy importante señalar que en ausencia de una evaluación de la carga contaminante y el valor relativo del agua, la vulnerabilidad hidrogeológica es un instrumento muy útil para:

- a) priorizar áreas donde la protección del agua subterránea es de vital importancia.

- b) Identificar áreas donde se justifique una atención especial o esfuerzos encaminados a la protección del agua subterránea.
- c) Identificar áreas donde los plaguicidas representen una mayor amenaza para el agua subterránea.
- d) Priorizar áreas con fines de monitoreo.
- e) Identificar características hidrogeológicas especiales que por lo general influyen sobre las actividades de descontaminación.
- f) Para la justificación de estudios hidrogeológicos más detallados.
- g) Identificar vacíos en los datos que afecten la evaluación del potencial de contaminación.
- h) Como instrumento de estudio para determinar si una instalación está ubicada (o se está ubicando) en un área vulnerable a la liberación de contaminantes en la superficie.

### Mapa 9 Vulnerabilidad Natural a la contaminación de agua subterránea



## **CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1 Conclusiones

La información existente en la base de datos de la dirección de hidrogeología de pozos perforados y excavados, del INETER, fue fundamental para la elaboración de este estudio de vulnerabilidad de la cuenca El Sauce usando el método DRASTIC, debido a que en estos registros se describe la profundidad a la que fueron encontrados los niveles de agua, características hidrogeológicas del medio, litología de los pozos, entre otras cosas.

1. Con la información recopilada, analizada y posteriormente procesada se elaboraron los mapas temáticos de cada uno de los parámetros hidrogeológicos que estudia la metodología DRASTIC, los cuales son:
  - 1) Profundidad del agua subterránea
  - 2) Zonas de recarga
  - 3) Medio del acuífero
  - 4) Tipo de suelo
  - 5) Impacto en la zona vadosa ó no saturada
  - 6) Pendiente
  - 7) Conductividad hidráulica
2. Los parámetros de mayor incidencia en los resultados obtenidos en este estudio son; profundidad del agua subterránea, medio del acuífero e impacto en la zona vadosa.
3. Respecto a la profundidad del agua subterránea, se encontraron 4 áreas con diferentes rangos de profundidades, las cuales son: (1) de 0.2 a 5.0 m, el cual está compuesto por 5 subáreas, (2) se detectaron los niveles de agua en los rangos de 5.0 a 10 m de profundidad, y está compuesto por 2 subáreas, (3) en esta zona la profundidad del agua oscila entre 10 a 15 m, estas profundidades son puntuales y se encuentran en esta zona únicamente, (4) los niveles de agua subterránea se detectan a > 15 m de profundidad, al igual que en la zona anterior estas profundidades son puntuales y se encuentran en esta única área en la cuenca.



El promedio en profundidad del agua en el área de estudio es de 7.55 m, y está dentro del rango de mayor cobertura en la cuenca, el cual es de 5.0 a 10 m.

4. El parámetro del medio del acuífero quedo compuesto por una única área, la cual está compuesta por los siguientes materiales; arcilla, limo, arena y bolones. Estos materiales, debido a sus características son de permeabilidad media - alta. Debido a la poca información litológica de pozos perforados se elaboraron solamente 2 perfiles hidrogeólogos, arrojando como resultado una única zona para este parámetro.
5. La zona vadosa está compuesta por 3 áreas; dos compuesta por materiales cuaternarios indiferenciados, constituidos por arenas y gravas; otra formada por arcillas y arcillas pesadas y otra está formada en su totalidad por rocas terciarias. Debido a que el procedimiento para la caracterización de este parámetro es similar al del parámetro del medio del acuífero, la poca información de litología en los pozos perforados fue la misma limitante para este parámetro.
6. Como resultado de la sobre posición de las 7 capas temáticas, se obtuvieron 19 escenarios hidrogeológicos distribuidos en la cuenca El Sauce. Para una mejor comprensión de estos escenarios se clasificaron en 3 clases de vulnerabilidad, las cuales son; alta vulnerabilidad, moderada vulnerabilidad y baja vulnerabilidad.
7. El área de alta vulnerabilidad está constituida por seis escenarios hidrogeológicos, se caracteriza por aquellas zonas donde la profundidad del agua subterránea es somera, varia en los rangos de 0.2 a 5 m de profundidad, pendientes planas que oscilan de 0 a 5 %, la zona vadosa en su mayoría está compuesta arena y grava. La agrupación de estas características proporciono el criterio para establecer el área de alta vulnerabilidad hidrogeológica a cualquier carga contaminante depositada en esta zona.
8. El área de vulnerabilidad moderada está formada por ocho escenarios hidrogeológicos, donde la profundidad del agua subterránea oscila entre 5 y 10 m de profundidad, las pendientes varían de 0 a 5 y de 5 a 10%, la textura de los suelos juega un papel importante debido que en las

pruebas de infiltración realizadas en NE (N° de pruebas 8, 15, 17) las cuales se aprecian en el mapa del medio del suelo determinaron la existencia de suelos vestísiles arcillosos pesados, poniendo mayores resistencias a la infiltración. La agrupación de estos escenarios hidrológicos proporcionó el criterio para establecer el área de moderada vulnerabilidad.

9. El área de baja vulnerabilidad está formada por cinco escenarios hidrogeológicos, los cuales son puntuales y relativamente pequeños, ubicados en las fronteras entre el material cuaternario y terciario, el tipo de material (rocas terciarias) que componen estas zonas y las elevadas pendientes >10 % conforman los criterio para establecer estas zonas como áreas de baja vulnerabilidad.
10. El mapa de vulnerabilidad hidrogeológica se elaboró unificando las áreas de vulnerabilidad por cada uno de sus rangos establecidos anteriormente.
11. Este mapa de vulnerabilidad hidrogeológica de la cuenca El Sauce será un instrumento auxiliar para orientar adecuadamente las decisiones relacionadas a la protección de las aguas subterráneas de la cuenca en estudio. Este mapa será impreso en una hoja tamaño tabloide (43.18 cm de ancho por 27.94 cm de alto), y la escala de salida será 1: 85,000.
12. Se presentó una limitante la cual fue la poca información de litológica de los pozos perforados.

## 5.2 Recomendaciones

1. Se recomienda que para la elaboración de estudios similares, se estime como fuente principal bibliográfica la base de datos de pozos perforados y excavados que posee la dirección de hidrogeología del INETER.
2. Se recomienda que para la elaboración de estudios similares se utilice el álgebra de mapas, modelos matemáticos, o cualquier otra forma, usando siempre imágenes raster, debido a que se obtienen resultados consistentes y facilita el trabajo de digitalizar vectores, potencializando así la cantidad de trabajo en menor tiempo.
3. Como aporte principal de esta investigación se recomienda el uso del mapa de zonas de vulnerabilidad hidrogeológica de la cuenca El Sauce, para cualquier construcción de empresas o industrias, sobre todo en aquellas áreas, que por sus características propias del medio, son de mayor vulnerabilidad a la contaminación antropogénica.
4. Se recomienda monitoreo constante de los niveles de agua, análisis físico – químico, medidas de conservación de ese recurso en la cuenca El Sauce, principalmente en los pozos que estas ubicados en las zonas de vulnerabilidad alta.
5. Las autoridades responsables deben llevar a cabo un estricto control de todas las posibles fuentes contaminantes, para evitar episodios de contaminación que puedan afectar la calidad del agua en este acuífero en el futuro.
6. Se recomienda la realización de modelación hidrogeológica del acuífero El Sauce con software indicados para identificar características físicas del medio.

7. Se recomienda adquirir licencias profesionales permanentes de paquetes tales como VISUAL MODFLOW, MT3D, DRASTIC, FEEFLOW, paquetes indispensables en la investigación para la continuación de estudios investigativos del acuífero El Sauce y otros principales acuíferos de Nicaragua, que son monitoreados por la red de monitoreo del departamento de hidrogeología del INETER.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. (Cuerpo ingeniero USA, 2001)
2. Foster, S y Hirata, R: Contaminación de Aguas Subterráneas, documento del CEPIS, con la OMS y la OPS, Lima, 1987.
3. Foster, S y Hirata, R: Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas, documento del CEPIS, con la OMS y la OPS, Lima, 1991.
4. Internet; Ficha Municipal del Municipio El Sauce, correspondiente al periodo 1997 – 200.
5. Ing. Jorge Luís Guatemala Herrera. 2002, Caracterización de la estela de contaminación del basurero la Joya en granada, Nicaragua. Centro par al investigación de los recursos acuáticos de Nicaragua (CIRA / UNAN).
6. Ing. Jonathan Agüero Valverde. 2004, Análisis de vulnerabilidad a la contaminación de una sección de los acuíferos del valle Central de costa Rica.
7. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) Julio 2001, Estudios Hidrológicos e Hidrogeológicos de la región del pacifico de Nicaragua.
8. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). Managua, Nicaragua, 2008, Estudio de Potenciales y Calidad de los Acuíferos del Norte de León y Chinandega.
9. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). Dirección de Recursos Hídricos Departamento de hidrogeología, consultas a base de datos y SIG de hidrogeología.
10. Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA), Real Universidad Politécnica de Estocolmo (KTH). Octubre 2000, Proyecto Uso Sostenible de los Recursos Hídricos (SUWaR – Nicaragua).
11. NORBERT FENZL. 1989, Geografía, Clima, Geología e hidrogeología de Nicaragua.

## **ANEXO**

## **ANEXO A: CUADROS**



**Cuadro 20 Pozos Perforados**

Nº pozo		Localización	E	N	Elev	Prof.	NEA	Nea	pH	Tº	Uso	Bomba	PR	Hoja top
INETER	Tipo				msnm	m	m	msnm		Cº			(m)	
14	PP	Fca. Santa Sara	548613	1423848	161						GD	Vertical		SAUCE
16	PP	Sabana Grande	556097	1416896	233	59.70		233	7.3	29.3	D	Mecate	0.3	Santa R del P
17	PP	San José - Finca el Cacao	553823	1418473	205	54.37	9.52	195.5			P	Sumergible	0.5	Santa R del P
24	PP	Guacucal	551312	1414601	172	59.63	29.7	142.4	6.5	29	D	Mecate	0.4	LA REYNAGA
25	PP	Guacucal	554811	1414880	192	54.87	45.5	146.5			D	Mecate	0.5	LA REYNAGA
26	PP	Guacucal	551943	1415145	190	36.40		190	6.5	28.4	P	Mecate	0.6	LA REYNAGA
27	PP	Quebrada Seca -el Sauce	547432	1422859	151			151	6.3	28.2	P	Vertical		SAUCE
30	PP	San José	552481	1419286	202	74.72		202			DG	Mecate	0.3	SAUCE
31	PP	Las Parras - Sauce	552969	1419464	185	83.55	4.7	180.3	6.7	28.9	DP	Mecate	0.5	SAUCE
32	PP	San Ramón	551855	1420407	191	60.27	2.3	188.7	6.8	28.7	PD	Mecate	0.7	SAUCE
33	PP	San Ramón	551941	1420830	214		24.2	189.8			PD	Sumergible	0.5	SAUCE
34	PP	San Ramón	551952	1420779	210			210	7	30.1	PD	Sumergible	0.5	SAUCE
35	PP	La Suiza	549945	1422478	174	45.05	2.62	171.4	6.2	27.9	PD	Mecate	0.7	SAUCE
36	PP	Yugo Quebrada	546941	1422965	139			139	6.4	27.7	P	Vertical	0.5	SAUCE
37	PP	Santa Bárbara	543975	1422436	144	63.37	14.3	129.8	7.4	30.1	D	Mecate	0.7	SAUCE
38	PP	Santa Bárbara	544138	1422364	151	29.98		151	7.2	29.4	P	Mecate	0.5	SAUCE
39	PP	Comunidad Agua Fria	539952	1420259	165	27.4	3.9	161.1	6.9	28.6	PD	B. de mano	0.7	SAUCE
40	PP	Hda. Las Palmitas	540910	1425503	136	59.4	7.8	128.2			Sin uso	Sin Bomba	0.7	SAUCE
41	PP	Coop. Eduardo Contreras	542433	1428040	141		10.2	130.8			PD	B. de mano	0.4	SAUCE
42	PP	La Esperanza	544004	1427270	145		9.8	135.2	6.8	29.4	Escolar	Mecate	0.4	SAUCE
43	PP	La Esperanza	544042	1427319	147	75.3	10.0	137.0			Sin uso	Sin Bomba	0.7	SAUCE
44	PP	Rio Grande	546377	1435074	240		14.2	225.8	6.8	28.7	Escolar	B. de mano	0.5	SAUCE
45	PP	Las Pilas	546040	1431696	203	24.4		203.0			PD	Centriguga	0.4	SAUCE

46	PP	La Palma	545964	1429012	168		13.4	154.6	7.2	31.1	Escolar	B. de mano	0.5	SAUCE
47	PP	Los Limones	547691	1426980	165		3.5	161.5	6.8	29.9	Escolar	Mecate	0.5	SAUCE
48	PP	El Chaparral	547460	1427603	162		4.2	157.8	7.2	29.8	Escolar	B. de mano	0.4	SAUCE

**Cuadro 21 Pozos Excavados**

N° pozo INETER	Tipo	Localización	E	N	Elev msnm	Prof. m	NEA m	Nea msnm	pH	T° C°	Uso	Bomba	PR	Hoja top
													(m)	
3	PE	Santa Bárbara	544082	1422344	146	18.30	1.2	366.9	6.9	28.3	G	Mecate	0.8	SAUCE
13	PE	Fca. Santa Sara	548545	1424746	164	13.05			6.5	30.2	G	Jacuzzi	0.8	SAUCE
28	PE	Sabana Grande	555630	1417215	229	11.17	6.4	222.6	6.9	28.4	D	Mecate	0.9	Santa R del P
29	PE	San Martín n°1	555919	1414375	246	15.38	1.4	244.6	6.9	26.5	DG	Mecate	0.7	Santa R del P
30	PE	Sabana Grande	555261	1416103	226	10.13	3.9	222.1	7.1	26.8	D	Malacate	0.7	Santa R del P
31	PE	Los Icavazeta	555584	1415842	223	11.64	6.8	216.2	7.2	28.3	DG	Sin Bomba	0.6	Santa R del P
32	PE	Sabana Grande	555398	1416533	223	13.90	10.9	212.1	7.7	28.9	D	Mecate	0.8	Santa R del P
33	PE	Finca la Ceibita	554762	1418999	225	5.75	1.7	223.3	6.4	28	DG	Sumergible	0.5	Santa R del P
34	PE	Sabana Grande	554052	1418298	205	7.65	4.0	201	11	27.6	DR	Mecate	0.6	Santa R del P
35	PE	Las Mercedes Finca la 21	553731	1419159	195	5.88	1.7	193.3			D	Mecate	0.4	Santa R del P
36	PE	San José	552335	1419373	189	11.67	7.7	181.3				Sin Bomba	0.6	SAUCE
37	PE	San José	552005	1419844	191	8.05	1.6	189.5	5.8	27.7	PD	Mecate	0.6	SAUCE
38	PE	Finca San Antonio	551346	1420443	188	9.44	1.2	186.8			DG	Sumergible	0.7	SAUCE
39	PE	Los Guasimo	553288	1420587	224	4.43	0.5	223.5	6.7	26.6	D	Sin Bomba	0.8	SAUCE
40	PE	San Ramón	551687	1421021	216	20.65	20.1	195.9	7.3	29.4	D	Sin Bomba	0.5	SAUCE
41	PE	El Búfalo	551280	1421488	190	10.01	1.9	188.1	5.8	28.2	D	Sin Bomba	0.5	SAUCE
42	PE	San Ramón	550996	1421942	179	12.37	0.2	178.9	5.9	28.5	D	Sin Bomba	0.7	SAUCE

43	PE	Finca Dinamarca	550458	1422244	180	9.96	0.4	179.6	5.5	28.1	D	Mecate	0.7	SAUCE
44	PE	La Lucha	550284	1421987	162	7.97	0.7	161.3	5.7	28.2	DG	Mecate	0.7	SAUCE
45	PE	Los Tololos	550037	1421695	163	10.70	2.0	161.1	6	28	D	Sin Bomba	0.9	SAUCE
46	PE	Los Tololos	550282	1420472	175	12.85	1.8	173.3	6	28.7	DR	Mecate	0.8	SAUCE
47	PE	San Nicolás	550373	1420080	181	14.41	6.9	174.1	6.3	28.8	PD	Mecate	0.8	SAUCE
48	PE	San Nicolás	550139	1419294	169	7.30	3.5	165.5	6	28.3	D	Mecate	1	SAUCE
49	PE	Finca el paraíso la suiza	549973	1421483	170	11.85	1.6	168.4	5.9	28.3	DG	Mecate	0.8	SAUCE
50	PE	La suiza	549894	1421068	168	10.67	2.8	165.2	6.2	28.7	D	Sin Bomba	0.6	SAUCE
51	PE	Tololos Centros	549916	1420492	167	14.10	4.2	162.8	6	27.3	D	Mecate	1	SAUCE
52	PE	Tololos Centros	549345	1420977	169	13.63	6.8	162.2	5.7	28.3	D	Mecate	0.7	SAUCE
52	PE	San José	552427	1417961	181	13.58	1.3	179.8	6	27.4	GR	Mecate	0.6	LA REYNAGA
53	PE	Tololos Centros	549166	1420467	153	10.87	5.2	147.8	6	28.5	D	Mecate	1.1	SAUCE
54	PE	Tololos Centros	548739	1420090	159	12.45	8.1	151	6.1	28.2	D	Mecate	0.8	SAUCE
55	PE	Tololos Centros	548517	1420209	173	11.55	8.3	164.7	6.2	28.6	D	Mecate	0.7	SAUCE
56	PE	La suiza	549970	1422049	174	10.95	5.8	168.2	5.8	28.8	D	Mecate	0.5	SAUCE
57	PE	Los Roble	549927	1423315	174	12.17	7.0	167	8	28.7	PD	Mecate	0.4	SAUCE
58	PE	Cofradía	551208	1422404	173	11.70	1.7	171.3	5.8	28.7	G	Sin Bomba	0.7	SAUCE
59	PE	El Tejal	550912	1422314	176	10.43	1.3	174.7	5.7	28.9	DG	Mecate	0.6	SAUCE
60	PE	El Tejal	550712	1422771	170	12.12	2.3	167.7	5.6	29	D	Mecate	0.6	SAUCE
61	PE	Entrada principal al Sauce	550360	1423645	172	8.31	0.5	171.5	7.1	27.6	D	Sin Bomba	0.8	SAUCE
62	PE	Parque Azul y Blanco 200mt al S	549883	1423559	173	15.10	1.2	171.8	6.3	28.8	R	PD	0.7	SAUCE
63	PE	El Sauce	549970	1423738	178	17.45	2.2	175.8	6.3	28	DGR	Sumergible	0.7	SAUCE
64	PE	Rochester - el Sauce	550339	1425026	186	15.60	12.1	173.9	7.4	29.4	PD	Sin Bomba	0.4	SAUCE
65	PE	Finca Santa Teresa	549621	1426125	198	14.06	6.5	191.5	6.7	29.2	DG	Mecate	0.7	SAUCE
66	PE	Finca Santa Teresa	549966	1426046	189	11.05	1.8	187.2	6.8	28.1	GR	Sin Bomba	0.7	SAUCE
67	PE	Puerta Colorada	550691	1425817	190	5.68	0.2	189.8	6.2	28.4	DG	Mecate	0.3	SAUCE

68	PE	La Guaruma	551115	1426217	204	11.81	8.5	195.5	6.4	27.3	PD	Sin Bomba	1	SAUCE
69	PE	Finca los Charcos -el Salitre	551214	1427186	242	15.27	9.6	232.4	6.5	27.7	DG	Mecate	0.8	SAUCE
70	PE	El Panamas	551806	1430060	480	5.40	0.5	479.5	6	27.2	PDG	Mecate	0.6	SAUCE
71	PE	Corre viento	551870	1431057	454	6.02	0.8	453.3	6.1	26	PDG	Mecate	0.6	SAUCE
72	PE	Ultima casa del calvario el Sauce	550392	1424773	186	4.55	1.1	184.9			PD	Sumergible	0.6	SAUCE
73	PE	Barrio Nuevo	549436	1424206	181	8.72	6.4	174.6	6.8	29	PDG	Mecate	0.6	SAUCE
74	PE	zona 4 corrales la zogaza	549770	1424190	176	12.05	7.6	168.4	5.9	28.5	D	Mecate		SAUCE
75	PE	Costado Oeste Asogaza	549761	1424227	178	12.40	7.9	170.1	5.8	28.9	R	Mecate	0.6	SAUCE
76	PE	Comarca el apangal	548515	1423512	162	7.02	0.2	161.8	6	28.1	R	Sin Bomba	0.5	SAUCE
77	PE	Los Galeanos	548339	1423382	155	9.55	3.6	151.5	5.8	28.2	PD	Mecate	0.5	SAUCE
78	PE	Quebrada Seca -el Sauce	548147	1423339	153	12.97	6.2	146.8	6.1	28.5	GR	Mecate	0.6	SAUCE
79	PE	Caserío Santa Cruz	547928	1423235	156	12.79	6.0	150.1	6.2	27.3	GR	Sumergible	0.7	SAUCE
80	PE	Quebrada Seca -el Sauce	547902	1423119	154	11.62	4.6	149.4	6.8	28.6	PD	Vertical	0.6	SAUCE
81	PE	Finca Santa Cruz	547632	1423755	164	11.96	5.0	159.1	6	27.5	PDR	Sumergible	1	SAUCE
82	PE	Santa Cruz	547826	1423866	165	13.81	5.9	159.1	6	28.5	PDG	Mecate	0.4	SAUCE
83	PE	Rancho Lizeht Panales n-2	547376	1424553	154	10.92	2.8	151.2	6.3	28.6	DG	Sumergible	0.7	SAUCE
84	PE	19 de Julio Panal n-2	546680	1424266	148	8.68	3.4	144.6	6.9	26.7	PD	Mecate	1	SAUCE
85	PE	Panales N-2	546545	1424105	149	8.54	4.1	144.9	6.3	27.5	D	Sin Bomba	0.5	SAUCE
88	PE	19 de Julio	546551	1424376	144	9.68	4.9	139.1	6.5	29.4	D	Sin Bomba	0.7	SAUCE
89	PE	Quebrada Seca -el Sauce	547002	1422948	146	11.80	8.2	137.8	7.2	29.1	R	Mecate	0.6	SAUCE
90	PE	Finca el Chingaste - el Sauce	546706	1422592	160	13.25	10.2	149.9	6.7	28.3	G	Mecate	0.9	SAUCE
91	PE	Armenia	546544	1421524	155	10.82	7.0	148	6.9	27.7	DG	Sin Bomba	0.6	SAUCE
92	PE	Armenia	546737	1420919	153	9.82	4.0	149	6.6	27.9	DG	Mecate	0.6	SAUCE
93	PE	Armenia	546832	1420807	159	10.72	4.2	154.8			PDG	Sin Bomba	0.5	SAUCE

94	PE	Finca el Salitre	549579	1426844	174	6.55	0.2	173.8	6.5	27.7	G	Mecate	0.8	SAUCE
95	PE	El Salitre	549795	1426850	184	14.30	7.1	176.9	6.6	29.2	DG	Mecate	0.6	SAUCE
96	PE	Finca el Marañonal	545890	1422786	155	13.58	8.7	146.4	6.7	29.2	D	Mecate	0.8	SAUCE
97	PE	Finca Peor es nada	545238	1422089	146	12.46	9.2	136.8	7	29.5	G	Sumergible	0.5	SAUCE
98	PE	Santa Bárbara	544176	1422626	151	16.73	2.1	148.9	6.8	28.9	D	Mecate	0.5	SAUCE
99	PE	Finca el Pantanal	543419	1421892	152	13.63	10.5	141.6	6.9	28.5	D	Mecate	0.6	SAUCE
100	PE	Finca llano largo - Santa Bárbara	542741	1421879	141	13.17	10.7	130.3	7.2	29.4	PDG	Mecate	0.7	SAUCE
101	PE	Finca el Guanacaste	542418	1421402	141	13.78	8.9	132.1	7.2	28.6	PD	Mecate	0.6	SAUCE
102	PE	Río el Portio Santa Bárbara	542238	1421695	141	10.68	7.0	134	6.7	29.3	PD	Sin Bomba	0.7	SAUCE
103	PE	Río el Portio	541972	1421770	131	8.30	4.7	126.3	6.9	29.2	PDG	Mecate	0.7	SAUCE
104	PE	Com. Agua fría -Finc-Sat-Maria	541834	1421607	131	8.35	4.6	126.5	7.2	28.2	PDG	Mecate	0.5	SAUCE
105	PE	Com.Agua fría -Finc-SanAntonio	540825	1420670	146	10.95	3.6	142.4	6.7	27.9	PDG	Mecate	0.9	SAUCE
106	PE	Camino al Pilón	540448	1421479	151	16.50	2.2	148.8	7	28.4	PD	Sin Bomba	0.6	SAUCE
107	PE	El Pilón	540288	1421764	151	10.08	0.2	150.8	6.5	28.7	PDR	Mecate	0.5	SAUCE
108	PE	El Pilón	539903	1421888	145	16.58	7.6	137.4	6.2	28.1	PD	Mecate	0.6	SAUCE
109	PE	El Pilón	540039	1421925	152	14.36	7.6	144.4	6.9	29.5	PD	Mecate	0.7	SAUCE
110	PE	El Pilón	540993	1422212	141	11.01	7.0	134.0	7.2	29.4	PD	Mecate	0.7	SAUCE
111	PE	El Pilón	540781	1422573	149	9.08	6.0	143.0	6.7	28.6	PD	Sin Bomba	0.4	SAUCE
112	PE	Tres puertas	540865	1422993	150	12.89	10.1	139.9	6.7	30	PD	Mecate	0.5	SAUCE
113	PE	Tres puertas	541116	1423499	147	11.25	9.1	137.9	7.1	28.6	PD	Sin Bomba	0.8	SAUCE
114	PE	Tres puertas	541168	1423337	151	10.58	8.0	143.1	6.8	29	PD	Sin Bomba	0.2	SAUCE
115	PE	San Agustin	541351	1417409	156	14.28	4.2	151.8	7.0	29.6	PD	Sin Bomba	0.4	SAUCE
116	PE	Cma. Agua Fria	541209	1417926	170	10.56	3.5	166.5	6.8	29	GD	Mecate	0.5	SAUCE
117	PE	Cma. Agua Fria	541335	1418459	174	8.77	1.3	172.7	6.9	27.5	G	Mecate	0.4	SAUCE
118	PE	Cma. Agua Fria	541416	1418677	162	8.03	3.1	158.9	6.6	26.8	PD	Mecate	0.5	SAUCE

119	PE	Cma. Agua Fria	541492	1419021	163	10.02	3.7	159.3	7.1	27.7	PD	Mecate	0.8	SAUCE
120	PE	Cma. Agua Fria	541177	1419590	154	7.67	2.9	151.1	6.9	28.7	PD	Mecate	0.7	SAUCE
121	PE	Cma. Agua Fria	540806	1419882	158	10.90	5.3	152.7	6.9	28.3	GD	Mecate	0.3	SAUCE
122	PE	Cma. La Carreta	545161	1419417	185	7.91	5.3	179.7	7.1	28.5	PD	Mecate	0.5	SAUCE
123	PE	Cma. La Carreta	544868	1419648	183	4.14	2.3	180.8	6.9	29	PD	Mecate	0.7	SAUCE
124	PE	Cma. La Carreta	545193	1420104	170	10.67	2.4	167.6	6.9	28	PD	Mecate	0.4	SAUCE
125	PE	Cma. La Carreta	544807	1420478	148	14.88	2.9	145.1	6.7	26.6	PD	Mecate	0.8	SAUCE
126	PE	Cma. La Carreta	544844	1420972	153	15.40	2.7	150.4	6.6	29.2	PD	Mecate	0.5	SAUCE
127	PE	Santa Bárbara	544653	1420940	149	12.50	2.9	146.1	6.7	27.2	PD	Mecate	0.6	SAUCE
128	PE	Santa Bárbara	544661	1421306	148	10.89	4.4	143.6	6.7	27.4	PD	Mecate	0.8	SAUCE
129	PE	Santa Bárbara	544374	1421501	147	14.88	8.0	139.0	7.0	28.4	PD	Mecate	0.6	SAUCE
130	PE	Santa Bárbara	544332	1421618	143	6.24	1.0	142.0	6.8	28.3	PD	Mecate	0.6	SAUCE
131	PE	19 de julio (Aguate)	548300	1424435	173	10.43	5.3	167.8	6.1	28.4	PD	Mecate	0.7	SAUCE
132	PE	Fca. Monte Pando( Panales 2)	546040	1424691	158	9.15	6.0	152.1	6.8	27.6	GD	Mecate	0.9	SAUCE
133	PE	Fca. Palo Blanco	545781	1424160	140						GD	Mecate	0.6	SAUCE
134	PE	Panales n°2	545630	1424545	152	9.40	7.4	144.6	6.9	29	PD	Mecate	0.5	SAUCE
135	PE	Fca. Las pequitas(panales 2)	545194	1424450	143	10.15	7.7	135.3	6.7	29	PD	Mecate	0.4	SAUCE
136	PE	Panales n°2	544570	1424523	140	7.35	5.2	134.8	7.0	31.2	PD	Mecate	0.7	SAUCE
137	PE	Panales n°2	544582	1424615	140	7.36	5.1	134.9	6.9	28.4	PD	Mecate	0.4	SAUCE
138	PE	Panales n°2	544251	1424797	145	10.07	7.6	137.5	6.8	29.4	PD	Mecate	0.5	SAUCE
139	PE	San Roque	545468	1425586	150	17.07	10.7	139.3	7.0	27.6	GD	Mecate	0.8	SAUCE
140	PE	Fca. San Roquito	544571	1425915	145	12.30	8.0	137.1	6.8	32.6	G	Mecate	0.8	SAUCE
141	PE	Fca. La Queserita	548608	1425378	164	12.10	6.5	157.5	6.9	29.6	GD	Mecate	0.7	SAUCE
142	PE	Los Panales n°1	548335	1425241	160	8.14	1.7	158.3	6.7	28	D	Sin Bomba	0.7	SAUCE
143	PE	Los Panales n°1	548040	1424965	165	7.96	0.8	164.2	6.4	28.7	GD	Mecate	0.8	SAUCE
144	PE	Fca. El Pavón	547345	1425926	167	11.31	4.2	162.8	6.4	29.1	GD	Sumergible	0.5	SAUCE

145	PE	Los Panales nº1	546515	1425703	143	7.86	2.8	140.2	6.5	30.3	GD	Mecate	0.6	SAUCE
146	PE	Los Panales nº1	546347	1425996	149	13.40	7.9	141.1	6.6	28.8	PD	Mecate	0.8	SAUCE
147	PE	Los Panales nº1	546103	1426069	163	15.84	9.6	153.5	6.6	30	PD	Mecate	0.7	SAUCE
148	PE	Fca. Los Placeres	545994	1426158	157	15.07	9.1	147.9	6.3	29.7	PD	Mecate	1	SAUCE
149	PE	Los Panales nº1	545191	1426390	140	12.71	9.1	130.9	6.7	29.7	GD	Mecate	0.8	SAUCE
150	PE	Cma. El caserio de los Rochas	544736	1426588	144	12.30	7.1	136.9	6.7	29	PD	Mecate	0.8	SAUCE
151	PE	Los Panales nº1	544717	1426520	147	10.56	6.4	140.7	6.7	29	PD	Mecate	0.5	SAUCE
152	PE	Los Panales nº1	544363	1426793	140	12.01	7.2	132.8	6.4	29.3	PD	Mecate	0.5	SAUCE
153	PE	Fca. San Luis el Pantanal	544116	1426803	125	11.93	8.2	116.8	6.8	29.3	GD	mec. y sumerg	0.6	SAUCE
154	PE	Los Panales nº1	544215	1426933	138	11.93	7.1	130.9	6.6	29.1	PD	Sin bomba	0.7	SAUCE
155	PE	Los Panales nº1	544222	1426982	142	12.10	7.5	134.5	6.5	29.6	PD	Mecate	0.5	SAUCE
156	PE	La Esperanza	544136	1427297	142	10.92	9.0	133.0	6.5	28.8	PD	Mecate	0.6	SAUCE
157	PE	Los Rochas	544407	1427407	148	16.32	10.4	137.6	6.3	29.1	PD	Mecate	0.6	SAUCE
158	PE	La Esperanza	544469	1427518	146	16.40	10.5	135.5	6.7	29	PD	Mecate	0.8	SAUCE
159	PE	Hda. Las Palmitas	540983	1425587	134	11.45	5.4	128.7	8.1	27	G	Gasolina	1.1	SAUCE
160	PE	Fca. Las Palmitas	540603	1426265	139	11.65	9.4	129.7	6.9	28.9	PD	Sin Bomba	0.5	SAUCE
161	PE	Hato Viejo	540503	1426532	135	10.17	8.1	126.9	7.7	29.3	GD	Mecate	0.7	SAUCE
162	PE	Hato Viejo	540835	1427232	125	5.35	2.7	122.3	6.8	28.3	PD	Mecate	0.8	SAUCE
163	PE	Nueva España	541598	1427130	127	11.35	9.5	117.5	7.1	29.2	PD	Mecate	0.5	SAUCE
164	PE	Nueva España	541720	1427107	133	12.17	9.9	123.1	7.0	29.2	PD	Mecate	0.6	SAUCE
165	PE	Nueva España	542092	1427115	140	13.53	11.2	128.9	6.7	29.7	PD	Mecate	0.7	SAUCE
166	PE	Nueva España	542077	1426910	140	12.84	10.6	129.5	7.1	29.4	PD	Mecate	0.4	SAUCE
167	PE	Nueva España	542596	1426860	138	13.02	11.2	126.9	7.2	29.4	PD	Mecate	0.4	SAUCE
168	PE	Caserío La Esperanza	542837	1426951	141	14.04	10.4	130.6	6.5	29.2	PD	Mecate	0.6	SAUCE
169	PE	La Esperanza	543282	1426997	141	11.91	8.0	133.0	6.6	29.6	PD	Mecate	0.4	SAUCE
170	PE	Cma. San Lorenzo	543162	1429119	137	11.78	8.8	128.2	6.8	28.9	PD	Mecate	0.8	SAUCE

171	PE	Cma. San Lorenzo	543249	1428037	142	12.87	10.8	131.2	6.5	28.7	PD	Mecate	0.5	SAUCE
172	PE	Las Lagunetas	542175	1427472	138	15.05	12.3	125.7	7.2	29.4	PD	Mecate	0.4	SAUCE
173	PE	Las Lagunetas	542899	1427791	138	14.68	11.2	126.8	6.8	29.2	PD	Mecate	0.9	SAUCE
174	PE	Coop. Eduardo Contreras	542442	1427847	140	11.13	9.6	130.4	6.7	28.9	PD	Mecate	0.8	SAUCE
175	PE	Coop. Eduardo Contreras	542386	1428051	140	17.93	11.0	129.0	6.7	28.2	PD	Mecate	0.7	SAUCE
176	PE	La casa del Cinco	541459	1428716	143	13.80	11.8	131.2	6.8	28.8	PD	Mecate	0.7	SAUCE
177	PE	La casa del Cinco	541270	1428621	141	6.84	5.6	135.4	6.6	27.6	PD	Mecate	0.4	SAUCE
178	PE	Los Loros	539896	1431997	144	12.85	4.9	139.2	7.6	29.2	PD	Mecate	0.7	SAUCE
179	PE	Los Loros	539956	1431802	132	6.54	4.0	128.0	7.1	28.4	Sin uso	Mecate	0.6	SAUCE
180	PE	Los Loros(Caserio Berberia)	541040	1430631	125	8.58	2.9	122.1	7.1	28.6	PD	Mecate	0.6	SAUCE
181	PE	Caserio Berberia	540635	1430511	119	10.98	5.6	113.4	7.0	29.1	PD	Mecate	0.7	SAUCE
182	PE	Hato Nuevo	541492	1429960	122	13.22	8.1	113.9	7.5	29.3	PD	Mecate	0.5	SAUCE
183	PE	Hato Nuevo(fca, los Lav)	540916	1429631	127	5.93	3.6	123.4	6.7	27.5	PD	Mecate	0.5	SAUCE
184	PE	Fca. Hato Nuevo	541813	1429860	135	11.15	7.3	127.7	7.1	27.9	PD	Mecate	0.8	SAUCE
185	PE	Fca. Hato Nuevo	542312	1429798	147	9.60	4.6	142.4	7.4	26.6	PD	Mecate	0.8	SAUCE
186	PE	Hato Nuevo	542442	1429643	145	10.52	5.2	139.8	7.2	28.3	PD	Mecate	0.6	SAUCE
187	PE	Hato Nuevo	542540	1429765	142	2.23	0.0	142.0	7.0	25.3	D	Sin Bomba	0.7	SAUCE
188	PE	Hato Nuevo	542774	1429857	150	8.22	1.9	148.1	6.6	27.9	PD	Mecate	0.9	SAUCE
189	PE	Hato Nuevo	542978	1429190	136	8.48	3.0	133.0	6.6	28.1	PD	Mecate	0.7	SAUCE
190	PE	Hato Nuevo	543202	1429326	140	12.66	2.8	137.2	6.4	28.3	PD	Mecate	0.7	SAUCE
191	PE	San José	544478	1429298	160	4.29	0.3	159.7	6.5	29.1	GD	Motor	0.7	SAUCE
192	PE	Santa Rita	544816	1428728	150	6.63	4.3	145.7	6.5	28.9	PD	Mecate	0.5	SAUCE
193	PE	Santa Rita	544808	1428576	155	14.84	7.7	147.3	7.2	32.1	PD	Mecate	0.4	SAUCE
194	PE	Santa Rita	544793	1428388	159	18.18	13.8	145.2	7.0	28.4	D	Sin Bomba	0.4	SAUCE



195	PE	Santa Rita	544832	1428240	155	22.54	13.4	141.6	6.9	28.8	PD	Eléctrica	1.1	SAUCE
196	PE	La Esperanza	542720	1427248	132	13.59	8.9	123.1	6.1	28.8	PD	Sin Bomba	0.8	SAUCE
197	PE	La Esperanza	544837	1426891	144	11.88	6.9	137.1	7.0	28.9	PD	Sin Bomba	0.7	SAUCE
198	PE	Los Panales nº1	544790	1427608	144	12.95	7.7	136.3	7.0	28.7	PD	Mecate	0.5	SAUCE
199	PE	Gallo Solo	545960	1427565	152	18.62	11.8	140.2	6.7	29.2	PD	Mecate	0.8	SAUCE
200	PE	Gallo Solo	546425	1427756	135	10.34	0.3	134.8	7.2	27.4	GD	Mecate	0.5	SAUCE
201	PE	Gallo Solo	546260	1427610	150	14.79	5.2	144.8	6.7	28.5	G	Mecate	4.7	SAUCE
202	PE	Entrada a los Limones	546812	1427031	156	12.15	4.6	151.4	6.6	28.5	PD	Sin Bomba	0.5	SAUCE
203	PE	Fca. El Marañonal	546762	1426850	154	17.24	8.5	145.5	6.5	29.7	GD	Mecate	0.6	SAUCE
204	PE	Los Limones	547013	1426808	155	11.77	6.6	148.4	6.5	29.5	GD	Mecate	0.6	SAUCE
205	PE	El Bejuco	545991	1434623	204	7.57	2.0	202.0	6.7	27.7	D	Sin Bomba	0.4	SAUCE
206	PE	El Bejuco	546151	1433915	215	8.26	3.6	211.4	6.9	29	D	Mecate	0.7	SAUCE
207	PE	Puente Ocho	546331	1433520	208	6.61	3.1	204.9	7.0	28.8	PD	Mecate	0.7	SAUCE
208	PE	Puente Ocho	546240	1433150	207	8.18	5.2	201.8	6.7	27.4	PD	Mecate	0.5	SAUCE
209	PE	Puente Ocho	546261	1433099	213	8.68	5.7	207.3	6.8	28	PD	Mecate	0.7	SAUCE
210	PE	Fca. Las Pilas	545964	1432643	203	4.97	3.2	199.8	7.0	27.6	PD	Mecate	0.8	SAUCE
211	PE	Las Pilas	545885	1432243	203	4.06	1.1	201.9	7.3	28.9	PD	Mecate	0.7	SAUCE
212	PE	Las Pilas	545945	1432001	191	9.64	2.3	188.7	6.8	27.9	PD	Mecate	0.7	SAUCE
213	PE	Las Pilas	546028	1431776	203	15.97	6.2	196.8	7.0	29.3	PD	Mecate	0.6	SAUCE
214	PE	Las Pilas	546282	1431582	204	13.29	8.2	195.8	7.3	28.9	PD	Sin Bomba	0.6	SAUCE
215	PE	Las Pilas	545928	1431508	197	12.04	4.7	192.3	7.2	28.6	PD	Mecate	0.4	SAUCE
216	PE	Las Pilas	545688	1430902	184	6.46	2.9	181.1	6.8	28.4	PD	Mecate	0.4	SAUCE
217	PE	B° Nuevo	545621	1430690	182	6.91	2.1	179.9	6.6	29.7	PD	Mecate	0.4	SAUCE
218	PE	La Palma	546387	1430339	183	10.97	5.5	177.5	6.7	29.4	PD	Mecate	0.3	SAUCE
219	PE	La Palma	546396	1430174	188	11.41	8.2	179.8	7.0	29.1	PD	Mecate	0.8	SAUCE
220	PE	La Palma	546450	1429950	190	12.46	10.7	179.3	6.9	29.5	D	Sin Bomba	0.5	SAUCE
221	PE	La Palma	546195	1429579	175	3.92	1.9	173.1	7.0	28.2	PD	Mecate	0.7	SAUCE

222	PE	La Palma	546341	1429519	186	20.31	8.7	177.4	6.8	29.6	PD	Mecate	0.6	SAUCE
223	PE	La Palma	546252	1429226	183	10.43	2.7	180.3	6.9	28.5	PD	Mecate	0.5	SAUCE
224	PE	La Palma	545720	1429174	186	5.96	2.4	183.7	6.7	28.6	PD	Mecate	0.7	SAUCE
225	PE	La Palma	545798	1429645	175	16.52	8.6	166.4	6.6	29.2	PD	Mecate	0.4	SAUCE
226	PE	La Cruz	545852	1430100	111	3.47	0.7	110.3	6.8	27.8	PD	Mecate	0.8	SAUCE
227	PE	La Cruz	545827	1430174	91	7.61	4.7	86.3	6.9	29.3	PD	Mecate	0.9	SAUCE
228	PE	La Palma	546227	1429025	135	16.71	4.4	130.7	6.4	29	PD	Mecate	0.7	SAUCE
229	PE	La Palma	546156	1428829	131	20.66	11.2	119.8	7.0	29	PD	Mecate	1	SAUCE
230	PE	La Palma	545690	1428324	147	10.65	3.9	143.1	6.5	28	GD	Mecate	0.6	SAUCE
231	PE	Los Limones	547499	1426924	147	16.22	7.4	139.6	6.9	29.3	PD	Mecate	0.6	SAUCE
232	PE	El Chaparral	547512	1427436	160	11.24	5.2	154.8	7.3	28.5	PD	Sin Bomba	0.5	SAUCE
233	PE	El Chaparral	547344	1427769	165	12.10	7.1	157.9	6.9	29.9	PD	Sin Bomba	0.5	SAUCE
234	PE	Los Limones	547344	1427769	149	5.30	2.7	146.3	6.6	28.4	PD	Mecate	1	SAUCE
235	PE	Los Limones	547870	1425968	160	12.22	5.3	154.7	7.0	28.7	PD	Mecate	0.5	SAUCE

**Cuadro 22**

<b>ALTA VULNERABILIDAD</b>		
<b>Escenario Hidrogeológico del Índice representativo 169</b>		
<b>PARAMETRO</b>	<b>VND (Valor Numérico DRASTIC)</b>	<b>CRITERIOS</b>
D (Profundidad del Agua Subterránea)	35	5 a 10 metros de profundidad
R Recarga Neta	36	La recarga de este escenario es mayor de 254 mm/anual
A (Medio del Acuífero)	24	Materiales compuestos por arenas y gravas
S (Medio del Suelo)	12	Suelos francos arcillosos, espesor 60 – 90 cm
T (Topografía)	9	Las pendientes oscilan entre 0 – 5%
I (Impacto en la Zona Vadosa)	40	Materiales compuestos por arena y grava
C (Conductividad Hidráulica)	4	La conductividad hidráulica varía de 4.08 a 12.22 m/día

**Cuadro 23**

<b>ALTA VULNERABILIDAD</b>		
<b>Escenario Hidrogeológico del Índice representativo 166</b>		
<b>PARAMETRO</b>	<b>VND (Valor Numérico DRASTIC)</b>	<b>CRITERIOS</b>
<b>D</b> (Profundidad del Agua Subterránea)	45	0.2 - 5 metros de profundidad
<b>R</b> Recarga Neta	32	La recarga de este escenario es de 178 a 254 mm/anual
<b>A</b> (Medio del Acuífero)	24	Materiales compuestos por arenas y gravas
<b>S</b> (Medio del Suelo)	14 12	Suelos franco arcillo arenoso, y franco arcilloso espesor 60 – 90 cm
<b>T</b> (Topografía)	9	Las pendientes oscilan entre 0 – 5%
<b>I</b> (Impacto en la Zona Vadosa)	40	Materiales compuestos por arena y grava
<b>C</b> (Conductividad Hidráulica)	4	La conductividad hidráulica varía de 4.08 a 12.22 m/día

**Cuadro 24**

<b>ALTA VULNERABILIDAD</b>		
<b>Escenario Hidrogeológico del Índice representativo 165</b>		
<b>PARAMETRO</b>	<b>VND (Valor Numérico DRASTIC)</b>	<b>CRITERIOS</b>
<b>D</b> (Profundidad del Agua Subterránea)	45	0.2 - 5 metros de profundidad
<b>R</b> Recarga Neta	36	La recarga de este escenario es mayor de 254 mm/anual
<b>A</b> (Medio del Acuífero)	24	Materiales compuestos por arenas y gravas
<b>S</b> (Medio del Suelo)	12	Suelos francos arcillosos espesor 60 – 90 cm
<b>T</b> (Topografía)	9	Las pendientes oscilan entre 0 – 5%
<b>I</b> (Impacto en la Zona Vadosa)	40	Materiales compuestos por arena y grava
<b>C</b> (Conductividad Hidráulica)	4	La conductividad hidráulica varia de 4.08 a 12.22 m/día

Cuadro 25

<b>ALTA VULNERABILIDAD</b>		
<b>Escenario Hidrogeológico del Índice representativo 164</b>		
<b>PARAMETRO</b>	<b>VND (Valor Numérico DRASTIC)</b>	<b>CRITERIOS</b>
D (Profundidad del Agua Subterránea)	45	0.2 - 5 metros de profundidad
R Recarga Neta	32	La recarga de este escenario es de 178 a 254 mm/anual
A (Medio del Acuífero)	24	Materiales compuestos por arenas y gravas
S (Medio del Suelo)	10	Esta compuesto por suelos vertisoles arcillosos espesor 60 – 90 cm
T (Topografía)	9	Las pendientes oscilan entre 0 – 5%
I (Impacto en la Zona Vadosa)	40	Materiales compuestos por arena y grava
C (Conductividad Hidráulica)	4	La conductividad hidráulica varia de 4.08 a 12.22 m/día

Cuadro 26

<b>ALTA VULNERABILIDAD</b>		
<b>Escenario Hidrogeológico del Índice representativo 163</b>		
<b>PARAMETRO</b>	<b>VND (Valor Numérico DRASTIC)</b>	<b>CRITERIOS</b>
D (Profundidad del Agua Subterránea)	45	0.2 - 5 metros de profundidad
R Recarga Neta	32	La recarga de este escenario es de 178 a 254 mm/anual
A (Medio del Acuífero)	24	Materiales compuestos por arenas y gravas
S (Medio del Suelo)	12 10	Suelos vertisoles arcillosos y franco arcillosos espesor 60 – 90 cm
T (Topografía)	6	Las pendientes oscilan entre 5 a 10%
I (Impacto en la Zona Vadosa)	40	Materiales compuestos por arena y grava
C (Conductividad Hidráulica)	4	La conductividad hidráulica varía de 4.08 a 12.22 m/día

Cuadro 27

<b>ALTA VULNERABILIDAD</b>		
<b>Escenario Hidrogeológico del Índice representativo 161</b>		
<b>PARAMETRO</b>	<b>VND (Valor Numérico DRASTIC)</b>	<b>CRITERIOS</b>
D (Profundidad del Agua Subterránea)	45 35	Las variaciones de la profundidad ocurren en los rangos de 0.2 – 5 y 5 -10 mts
R Recarga Neta	32	La recarga de este escenario es de 178 a 254 mm/anual
A (Medio del Acuífero)	24	Materiales compuestos por arenas y gravas
S (Medio del Suelo)	12	Suelos franco arcillosos espesor 60 – 90 cm
T (Topografía)	9	Las pendientes oscilan entre 0 a 5 %
I (Impacto en la Zona Vadosa)	40	Materiales compuestos por arena y grava
C (Conductividad Hidráulica)	4	La conductividad hidráulica varía de 4.08 a 12.22 m/día



Cuadro 28

<b>ALTA VULNERABILIDAD</b>		
<b>Escenario Hidrogeológico del Índice representativo 156</b>		
<b>PARAMETRO</b>	<b>VND (Valor Numérico DRASTIC)</b>	<b>CRITERIOS</b>
D (Profundidad del Agua Subterránea)	45 35	Los rangos varían 0.2 – 5 y 5 -10 mts
R Recarga Neta	32	La recarga de este escenario es de 178 a 254 mm/anual
A (Medio del Acuífero)	24	Materiales compuestos por arenas y gravas
S (Medio del Suelo)	12	Suelos franco arcillosos espesor 60 – 90cm
T (Topografía)	9	Las pendientes oscilan entre 0 a 5 %
I (Impacto en la Zona Vadosa)	40	Materiales compuestos por arena y grava
C (Conductividad Hidráulica)	4	La conductividad hidráulica varia de 4.08 a 12.22 m/día

**Cuadro 29**

<b>MODERADA VULNERABILIDAD</b>		
<b>Escenario Hidrogeológico del Índice representativo 142</b>		
<b>PARAMETRO</b>	<b>VND (Valor Numérico DRASTIC)</b>	<b>CRITERIOS</b>
<b>D</b> (Profundidad del Agua Subterránea)	35	profundidad de 5 a 10 mts
<b>R</b> Recarga Neta	32	La recarga de este escenario es de 178 a 254 mm/añual
<b>A</b> (Medio del Acuífero)	24	Materiales compuestos por arenas y gravas
<b>S</b> (Medio del Suelo)	12	Suelos franco arcillosos espesor 60 – 90 cm
<b>T</b> (Topografía)	9	Las pendientes oscilan entre 0 a 5 %
<b>I</b> (Impacto en la Zona Vadosa)	40	Materiales compuestos por arena y grava
<b>C</b> (Conductividad Hidráulica)	4	La conductividad hidráulica varía de 4.08 a 12.22 m/día

Cuadro 30

<b>MODERADA VULNERABILIDAD</b>		
<b>Escenario Hidrogeológico del Índice representativo 140</b>		
<b>PARAMETRO</b>	<b>VND (Valor Numérico DRASTIC)</b>	<b>CRITERIOS</b>
D (Profundidad del Agua Subterránea)	35	profundidad de 5 a 10 mts
R Recarga Neta	32	La recarga de este escenario es de 178 a 254 mm/anual
A (Medio del Acuífero)	18	Materiales terciario volcánico, coyol inferior “Andesitas”
S (Medio del Suelo)	12	Suelos franco arcillosos espesor 60 – 90 cm
T (Topografía)	1	Pendientes mayores a 18 %
I (Impacto en la Zona Vadosa)	35	Materiales terciario volcánico, coyol inferior “Andesitas”
C (Conductividad Hidráulica)	2	La conductividad hidráulica varía de 0.04 a 4.08 m/día

**Cuadro 31**

<b>MODERADA VULNERABILIDAD</b>		
<b>Escenario Hidrogeológico del Índice representativo 138</b>		
<b>PARAMETRO</b>	<b>VND (Valor Numérico DRASTIC)</b>	<b>CRITERIOS</b>
<b>D</b> (Profundidad del Agua Subterránea)	45 35	La variación de la profundidad del agua ocurren en el rango 0.2 – 5 y 5 - 10 mts
<b>R</b> Recarga Neta	32	La recarga de este escenario es de 178 a 254 mm/anual
<b>A</b> (Medio del Acuífero)	24 21	Materiales compuestos por arenas y gravas y Dacitas del grupo coyol inferior
<b>S</b> (Medio del Suelo)	12 4	Suelos franco arcillosos espesor 60 – 90 cm, y dacitas del grupo coyol inferior, espesor 40 – 90 cm
<b>T</b> (Topografía)	9 1	Las variación de la pendiente oscila entre 0 a 5 % y mayores a 18%
<b>I</b> (Impacto en la Zona Vadosa)	20 35	Materiales compuestos por arcillas, y dacitas del grupo coyol inferior
<b>C</b> (Conductividad Hidráulica)	6	La conductividad hidráulica varía de 12.22 a 28.55 m/día, y de 0.04 a 4.08 ma/día

**Cuadro 32**

<b>MODERADA VULNERABILIDAD</b>		
<b>Escenario Hidrogeológico del Índice representativo 136</b>		
<b>PARAMETRO</b>	<b>VND (Valor Numérico DRASTIC)</b>	<b>CRITERIOS</b>
<b>D</b> (Profundidad del Agua Subterránea)	35	profundidad de 5 a 10 mts
<b>R</b> Recarga Neta	32	La recarga de este escenario es de 178 a 254 mm/anual
<b>A</b> (Medio del Acuífero)	24	Materiales compuestos por arenas y gravas
<b>S</b> (Medio del Suelo)	12 10	Esta compuesto por suelos franco arcillosos y vertisoles arcillosos espesor 60 – 90 cm
<b>T</b> (Topografía)	9 6	Las variaciones de pendiente oscilan en los rangos de 0 a 5, y 5 a 10 %
<b>I</b> (Impacto en la Zona Vadosa)	40 20	Esta compuesto por arenas y gravas, y arcillas
<b>C</b> (Conductividad Hidráulica)	6 4	Los rangos de variación para este parámetro son 12.22 a 28.55 y 4.08 a 12.22 m/día

**Cuadro 33**

<b>MODERADA VULNERABILIDAD</b>		
<b>Escenario Hidrogeológico del Índice representativo 135</b>		
<b>PARAMETRO</b>	<b>VND (Valor Numérico DRASTIC)</b>	<b>CRITERIOS</b>
<b>D</b> (Profundidad del Agua Subterránea)	35	profundidad de 5 a 10 mts
<b>R</b> Recarga Neta	32	La recarga de este escenario es de 178 a 254 mm/anual
<b>A</b> (Medio del Acuífero)	24	Materiales compuestos por arenas y gravas
<b>S</b> (Medio del Suelo)	12	Esta compuesto por suelos franco arcillosos espesor 60 – 90 cm
<b>T</b> (Topografía)	9	Las variaciones de pendiente es del orden de 0 a 5, y 5 a 10 %
<b>I</b> (Impacto en la Zona Vadosa)	40	Esta compuesto por arenas y gravas
<b>C</b> (Conductividad Hidráulica)	4	La conductividad hidráulica varia de 4.08 a 12.22 m/día

**Cuadro 34**

<b>MODERADA VULNERABILIDAD</b>		
<b>Escenario Hidrogeológico del Índice representativo 129</b>		
<b>PARAMETRO</b>	<b>VND (Valor Numérico DRASTIC)</b>	<b>CRITERIOS</b>
D (Profundidad del Agua Subterránea)	45	La profundidad para este escenario es 0.2 a 5 mts
R Recarga Neta	24	La recarga de este escenario es de 103 - 178 mm/anual
A (Medio del Acuífero)	18	Materiales terciario volcánico, coyol inferior "Andesitas"
S (Medio del Suelo)	4	Esta compuesto por andesitas espesor 40 – 90 cm
T (Topografía)	6	Las pendiente oscilan entre 5 a 10 %
I (Impacto en la Zona Vadosa)	35	Materiales terciario volcánico, coyol inferior "Andesitas"
C (Conductividad Hidráulica)	2	La conductividad hidráulica varia de 0.04 a 4.08 m/día

**Cuadro 35**

<b>MODERADA VULNERABILIDAD</b>		
<b>Escenario Hidrogeológico del Índice representativo 128</b>		
<b>PARAMETRO</b>	<b>VND (Valor Numérico DRASTIC)</b>	<b>CRITERIOS</b>
<b>D</b> (Profundidad del Agua Subterránea)	25	profundidad de 10 a 15 mts
<b>R</b> Recarga Neta	32	La recarga de este escenario es de 178 - 254 mm/anual
<b>A</b> (Medio del Acuífero)	24	Materiales compuestos por arenas y gravas
<b>S</b> (Medio del Suelo)	12	Esta compuesto por suelos franco arcillosos espesor 60 – 90 cm
<b>T</b> (Topografía)	9	Las pendientes oscilan entre 0 a 5 %
<b>I</b> (Impacto en la Zona Vadosa)	20	Esta compuesto arcillas
<b>C</b> (Conductividad Hidráulica)	6	La conductividad hidráulica varia de 12.22 a 28.55 mm/día



Cuadro 36

<b>BAJA VULNERABILIDAD</b>		
<b>Escenario Hidrogeológico del Índice representativo 127</b>		
PARAMETRO	VND (Valor Numérico DRASTIC)	CRITERIOS
D (Profundidad del Agua Subterránea)	35	profundidad de 5 - 10 mts
R Recarga Neta	32	La recarga de este escenario es de 178 a 254 mm/anual
A (Medio del Acuífero)	18	Terciario volcánico, coyol inferior “ Ignimbritas Dacíticas”
S (Medio del Suelo)	4	Esta compuesto por Ignimbritas Dacíticas espesor 40 – 90 cm
T (Topografía)	1	Pendientes mayores de >18 %
I (Impacto en la Zona Vadosa)	35	Terciario volcánico, coyol inferior “ Ignimbritas Dacíticas”
C (Conductividad Hidráulica)	2	La conductividad hidráulica varia de 0.04 a 4.08 mm/día

**Cuadro 37**

<b>BAJA VULNERABILIDAD</b>		
<b>Escenario Hidrogeológico del Índice representativo 124</b>		
<b>PARAMETRO</b>	<b>VND (Valor Numérico DRASTIC)</b>	<b>CRITERIOS</b>
<b>D</b> (Profundidad del Agua Subterránea)	35	Profundidad de 5 -10 mts
<b>R</b> Recarga Neta	24	La recarga de este escenario es de 103 a 178 mm/anual
<b>A</b> (Medio del Acuífero)	18	Terciario volcánico, coyol inferior “ Ignimbritas Dacíticas”
<b>S</b> (Medio del Suelo)	4	Esta compuesto por Ignimbritas Dacíticas espesor 40 – 90 cm
<b>T</b> (Topografía)	6	Pendientes varían de 5 a 10 %
<b>I</b> (Impacto en la Zona Vadosa)	35	Terciario volcánico, coyol inferior “ Ignimbritas Dacíticas”
<b>C</b> (Conductividad Hidráulica)	2	La conductividad hidráulica varia de 0.04 a 4.08 mm/día

Cuadro 38

<b>BAJA VULNERABILIDAD</b>		
<b>Escenario Hidrogeológico del Índice representativo 120</b>		
PARAMETRO	VND (Valor Numérico DRASTIC)	CRITERIOS
D (Profundidad del Agua Subterránea)	15	Mayor de 15 m. de profundidad
R Recarga Neta	32	La recarga de este escenario es de 178 a 254 mm/anual
A (Medio del Acuífero)	18	Terciario volcánico, coyol inferior “ Andesitas”
S (Medio del Suelo)	12	Suelos franco arcillosos, espesor 60 – 90 cm
T (Topografía)	6	Pendientes que oscilan en los rangos 5 a 10 %
I (Impacto en la Zona Vadosa)	35	Terciario volcánico, coyol inferior “ Andesitas”
C (Conductividad Hidráulica)	2	La conductividad hidráulica varía de 0.04 a 4.08 mm/día

Cuadro 39

<b>BAJA VULNERABILIDAD</b>		
<b>Escenario Hidrogeológico del Índice representativo 116</b>		
PARAMETRO	VND (Valor Numérico DRASTIC)	CRITERIOS
D (Profundidad del Agua Subterránea)	35	Profundidad varia de 5 a 10 m de profundidad
R Recarga Neta	32	La recarga de este escenario es de 178 a 254 mm/anual
A (Medio del Acuífero)	12	Terciario volcánico, coyol inferior “Andesitas”
S (Medio del Suelo)	12 4	Está compuesto por suelos franco arcilloso con espesor de 60 -90 cm, y andesitas fracturadas, espesor 40 – 90 cm
T (Topografía)	6	Pendientes que oscilan en los rangos 5 a 10 %
I (Impacto en la Zona Vadosa)	25	Terciario volcánico, coyol inferior “Andesitas”
C (Conductividad Hidráulica)	2	La conductividad hidráulica varia de 0.04 a 4.08 mm/dia

**Cuadro 40**

<b>BAJA VULNERABILIDAD</b>		
<b>Escenario Hidrogeológico del Índice representativo 105</b>		
<b>PARAMETRO</b>	<b>VND (Valor Numérico DRASTIC)</b>	<b>CRITERIOS</b>
<b>D</b> (Profundidad del Agua Subterránea)	35	Profundidad varia de 5 a 10 m de profundidad
<b>R</b> Recarga Neta	24	La recarga de este escenario es de 103 a 178 mm/anual
<b>A</b> (Medio del Acuífero)	18	Terciario volcánico, coyol inferior “ Ignimbritas Daciticas”
<b>S</b> (Medio del Suelo)	4	Está compuesto por suelos franco arcillosos, espesor 60 – 90 cm
<b>T</b> (Topografía)	1	Pendientes mayores a 18 %
<b>I</b> (Impacto en la Zona Vadosa)	35	Terciario volcánico, coyol inferior “ Ignimbritas Daciticas”
<b>C</b> (Conductividad Hidráulica)	2	La conductividad hidráulica varia de 0.04 a 4.08 mm/dia

## **ANEXO B: FIGURAS**



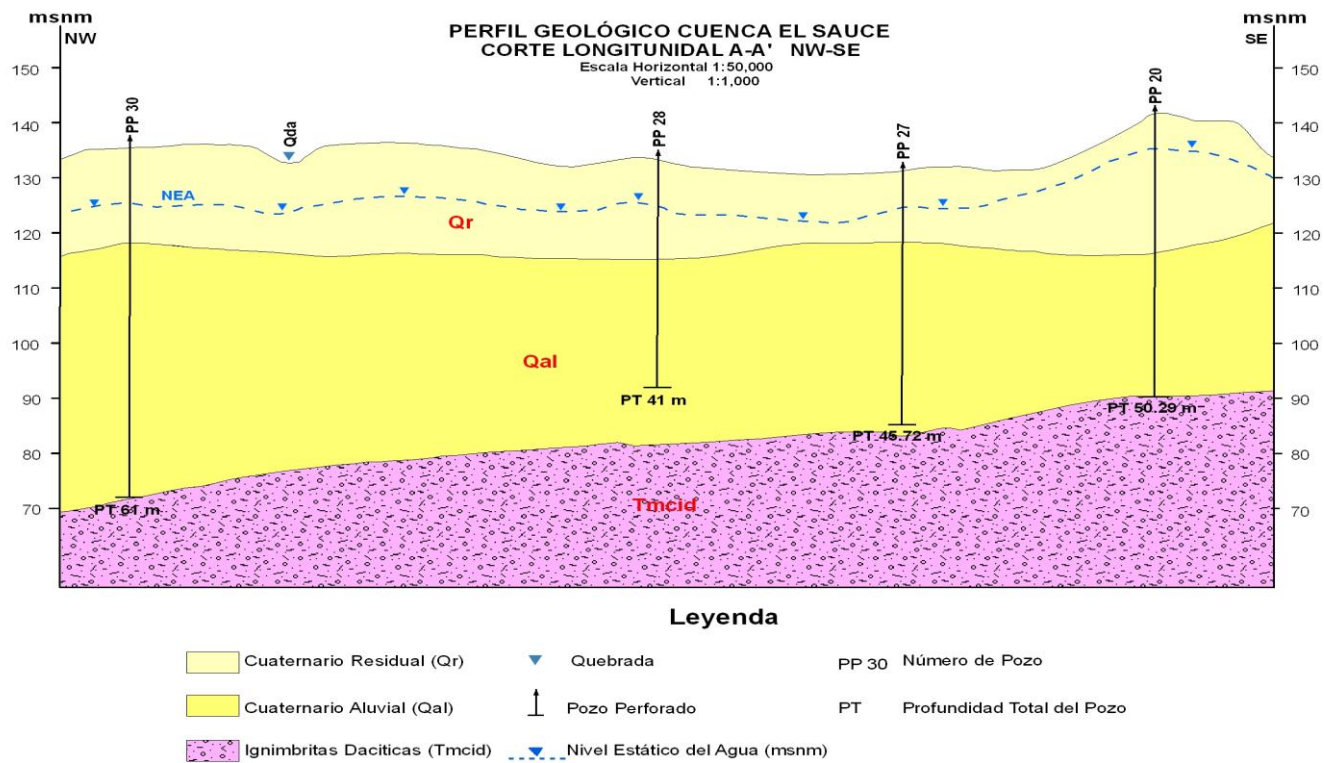
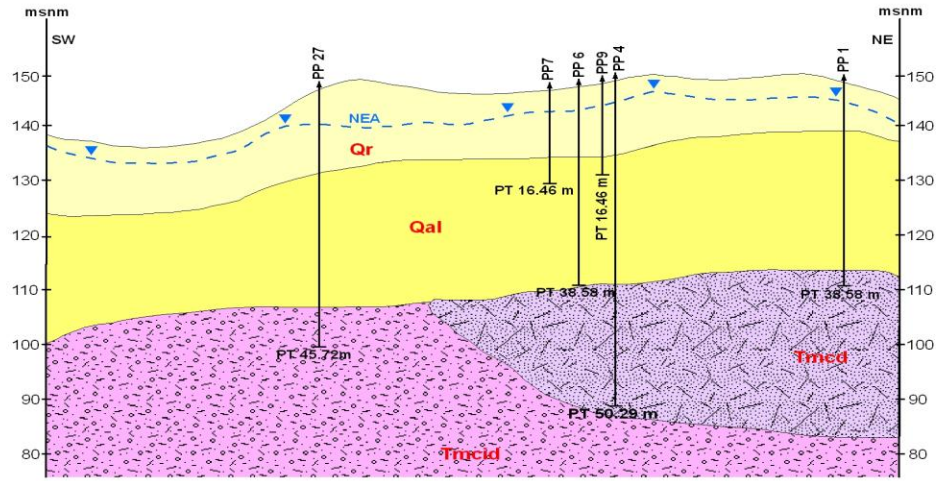


Figura 9



**PERFIL GEOLÓGICO CUENCA EL SAUCE**  
**CORTE TRANSVERSAL A-A' NE-SW**  
Escala Horizontal 1:50,000  
Vertical 1:1,000



**Legenda**

- |                               |                                |
|-------------------------------|--------------------------------|
| Cuaternario Residual (Qr)     | Pozo Perforado                 |
| Cuaternario Aluvial (Qal)     | Nivel Estático del Agua (msnm) |
| Dacitas Silificadas (Tmcd)    | PP 27 Número de Pozo           |
| Ignimbritas Dacíticas (Tmcid) | PT Profundidad Total del Pozo  |

**Figura 10**

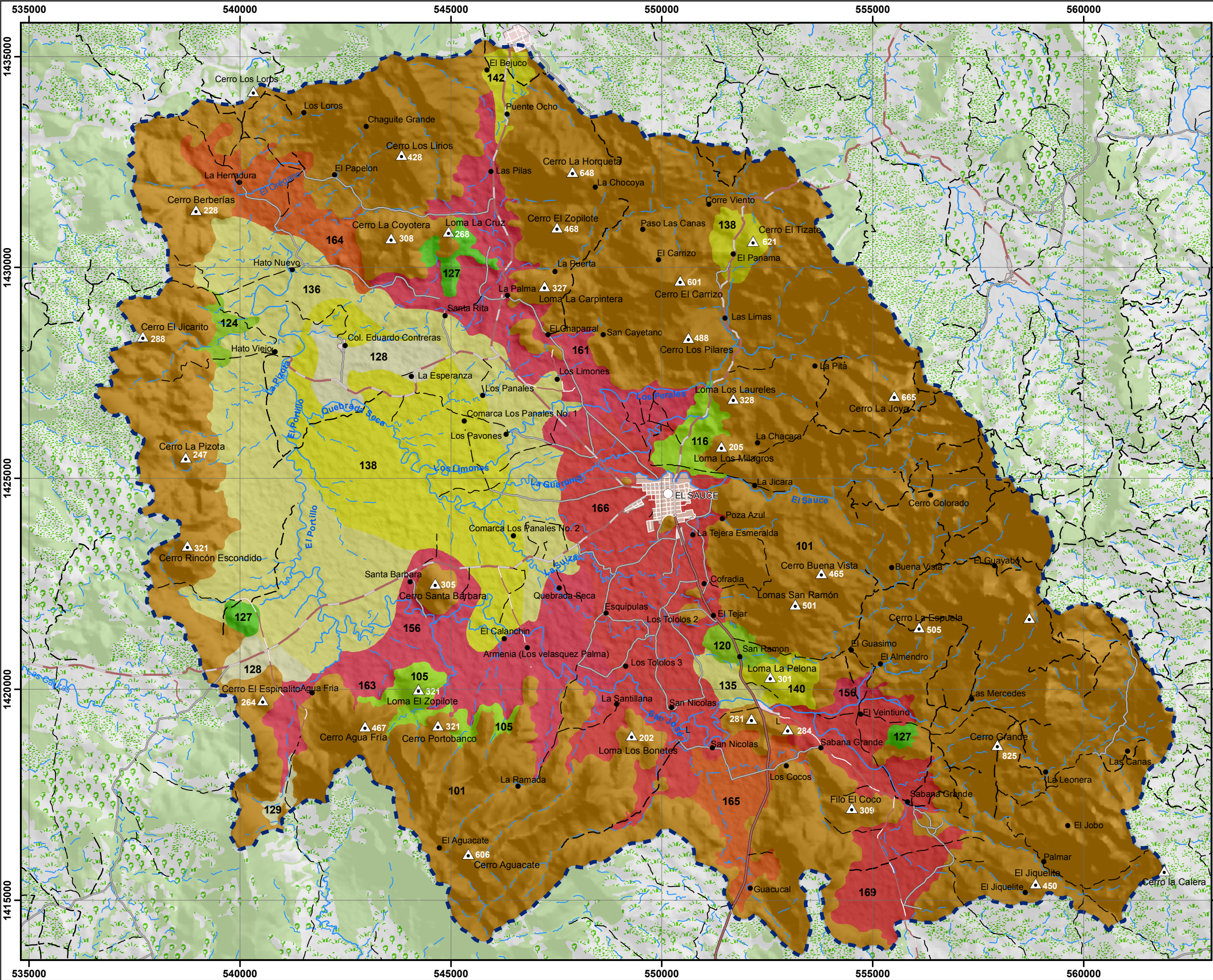
ERA	PERÍODO	ÉPOCA	ESPESOR (m)	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS	
CENOZOICA	CUATERNARIO	Holoceno	0 - 89		Pleistoceno-Holoceno: Arcillas, arenas y suelos arcillo-arenosos	Acuíferos porosos de permeabilidad, espesor y transmisividad variable entre media a altas.	
		Pleistoceno					
	TERCIARIO	Plioceno	Indefinido			Plioceno: Grupo Coyoil Superior- Lava basáltica	Acuíferos discontinuos, fracturados, con flujos que descargan en pequeños manantiales. Permeabilidad y rendimiento variable de bajos a medios.
						Plioceno: Grupo Coyoil Superior- Lava andesítica	
						Plioceno: Grupo Coyoil Superior- Ignimbritas	
						Mioceno: Grupo Coyoil Inferior- Dacitas silicificadas	
		Mioceno				Mioceno: Grupo Coyoil Inferior- Dacitas	
						Mioceno: Grupo Coyoil Inferior- Ignimbritas dacíticas	
						Mioceno: Grupo Coyoil Inferior- Andesitas	
						Tia: Terciario Intrusivo Ácido- Granodiorita.	

**Figura 11 Columna estratigráfica de la cuenca El Sauce.**  
Fuente: INETER, 2008









**VULNERABILIDAD HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA EL SAUCE USANDO EL MÉTODO DRASTIC**

**AUTOR : AMÍLCAR JOSUÉ RAMOS VALLE**

**LOCALIZACIÓN POLITICA ADMINISTRATIVA**

**MAPA 8**

**ESCENARIOS HIDROGEOLÓGICOS**

**LEYENDA**

**1.0 ESCENARIOS HIDROGEOLÓGICOS**

Alta vulnerabilidad	Moderada vulnerabilidad	Baja vulnerabilidad
156	128	105
161	129	116
163	135	120
164	136	127
165	138	
166	140	
169	142	

Rocas terciarias

**2.0 LÍMITE**

Cuenca Hidrográfica El Sauce

**3.0 SIGNOS CONVENCIONALES**

**3.1 Cabezera Municipal**

Cabezera Municipal

**3.2 Edificaciones Importantes**

Caserios

Zonas edificadas de alta densidad

Poblados

Elevaciones de cerros (msnm)

**3.3 Cobertura Vegetal**

Bosque de árboles caducifolios

Monte bajo

Pasto tropical

Plantación, huerto y viveros

Árboles dispersos

**3.4 Red de Drenaje**

Río intermitente

Río perenne

**3.3 Red Vial**

Autopista, pavimentada, todo tiempo

Camino de revestimiento suelto o ligero, tiempo bueno o seco

Carretera de revestimiento suelto, dos o más vías, todo tiempo

Carretera de revestimiento suelto, una vía, todo tiempo

Carretera pavimentada, dos o más vías, todo tiempo

Carretera pavimentada, una vía, todo tiempo

Rodera

Sendero

Sendero a pie

**ESCALA**

**1: 85,000**

Proyección Transversal de Mercator (UTM), Zona 16, Elipsoide: WGS 84, Dato Horizontal : Norteamérica de 1984.

**MANAGUA, NICARAGUA**

**MARZO, 2012**

FUENTE: Mapa topográfico edición 2004, JICA. Datos de archivo de INETER y trabajo del campo del autor



